Belastungswirkungen durch die Aufladung der Inntaldecke

Von

Otto Ampferer
ordentl. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Mit 26 Textfiguren)

Vorgelegt in der Sitzung am 2. März 1944

Bei der Neuaufnahme des Karwendelgebirges ist der Gedanke lebendig geworden, daß der Nordrand der auf die Lechtaldecke aufgeladenen Inntaldecke durch eine tiefgreifende Störung bezeichnet wird, welche man mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit der Belastungsgrenze durch die Inntaldecke in Beziehung bringen kann. Dieser Zusammenhang verdient eine genauere Prüfung, die in dieser Arbeit in Kürze vorgelegt werden soll.

In den westlichen Nordalpen ist die Inntaldecke, welche einst wohl einen großen Teil der Lechtaldecke zusammenhängend überlagerte, heute durch die Erosion in eine Reihe von recht ungleichen Stücken zernagt. Es sind dies die mir durch eigene Aufnahmen bekannten Deckschollen des Kaisergebirges, jene des Karwendels, des Mieminger- und Wettersteingebirges sowie die der Lechtaler Alpen und des Rätikons. Bevor wir aber in eine Beschreibung einiger für unsere Prüfung wichtiger Profile eintreten, ist es nützlich, sich die hier vorhandenen geometrischen Möglichkeiten wenigstens in Umrissen klarzumachen.

Eine erste Frage ist nun, ob bei einer Belastung nur der unmittelbare Untergrund entsprechend eingedrückt wird oder ob das benachbarte unbelastete Gebiet vielleicht eine aufsteigende Bewegung ausführt und so die Wirkung der Last auf ein weiteres Gebiet verteilt und dadurch gemildert wird.

Die erste Form stellt eine rein vertikale Wirkung der Belastung vor, während bei der zweiten Form ein mehr horizontaler Ausgleich der Druckunterschiede angestrebt wird. In Wirklichkeit

dürfte die erste Form in reiner Ausbildung nur selten vorkommen. Vielmehr wird durch das Einsinken einer schweren Last wohl in den meisten Fällen ein anschließendes Aufsteigen der benachbarten unbelasteten Umgebung angeregt werden.

Die Aufladung einer Last auf einen Sockel kann in verschiedener Weise ausgeführt werden. Die Last kann hinaufgeworfen, hinaufgerollt, hinaufgeschoben, hinaufgezogen oder hinaufgeschüttet werden. Für unsere Betrachtung kommt wohl nur eine Aufladung in Form von Schub- oder Gleitmassen ernstlich in Betracht.

Bei einer solchen Aufladung einer Decke auf eine andere kann die Wirkung der Belastung in verschiedenen Tiefen untersucht werden. Als tiefste Stufe käme wohl die Grenze zwischen dem starren und dem bereits plastisch beweglichen Untergrund in Betracht. Diese Grenze liegt aber sehr tief und daher außerhalb des geologisch beobachtbaren Bereiches.

Eine andere wichtige Grenze ist dann die alte Oberfläche, auf welche die tektonische Aufladung der Decken stattgefunden hat. Diese Fläche kann eine Landfläche oder ein See- oder Meeresboden sein. Handelt es sich um eine Landfläche, so ist sehr wahrscheinlich, daß es zugleich eine Abtragungsfläche mit einem Erosionsrelief ist. Liegt eine wasserbedeckte Fläche vor, so ist darunter eine frisch sedimentierte Ablagerung zu erwarten. Im ersten Falle bedeutet die Aufladung der Decken eine reine Belastung, im zweiten Falle haben wir je nach der Wassertiefe nur eine Belastung nach Abzug der verdrängten Wassermasse zu verzeichnen.

Die Überschiebung oder Übergleitung von Reliefflächen ist in neuerer Zeit in weiter Ausdehnung bereits festgestellt. Überschiebungen oder Eingleitungen in wassergefüllte Hohlräume sind, soweit meine Erfahrungen reichen, bisher nicht bekannt. Freilich ist ihre geologische Erforschung mit den üblichen feldgeologischen Mitteln auch nicht ausführbar.

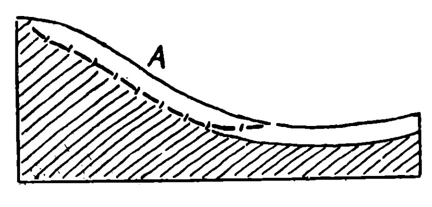
An und für sich müßten ja an den Steilküsten und den Abfällen der Kontinente gegen den Meeresboden für Gleitungen großen Maßstabes durch die Verminderung der Reibung besonders günstige Möglichkeiten vorliegen.

Am klarsten sind die Verhältnisse der Belastungsverschiebungen bei einer Gleitung zu überblicken. Hier haben wir auf der hohen Seite eine Wegnahme von Belastung, auf der tiefen eine Aufladung. Sind die hier verschobenen Massen genügend groß und schwer, so wäre auf der Hochseite ein Aufsteigen des entlasteten Untergrundes, auf der Tiefseite dagegen ein Sinken desselben zu erwarten.

Im allgemeinen ist wohl anzunehmen, daß eine dabei auftretende korrigierende Materialverschiebung nicht mehr das volle Ausmaß des Reliefs herzustellen vermag, daß also die Hochseite nicht mehr ihre volle Höhe, die Tiefseite nicht mehr ihre volle Tiefe zurückerhält.

Fig. 1 führt diese Verhältnisse im Schauschema vor.

Geologisch nachweisbar bleibt wohl nur die Belastungswirkung an der Vorderseite der Gleitung, da ja die Rückseite in den meisten Fällen der Abtragung oder Senkung anheimgefallen sein dürfte.



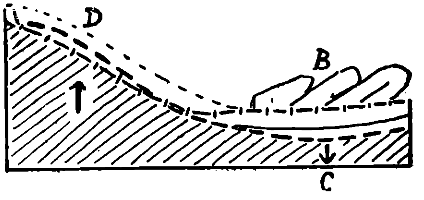


Fig. 1.

Schema der Belastungsverteilung bei einer Gleitung.

A = Umriß des Gleitkörpers. C = Eindrückung durch Belastung.
B = Aufladung des Gleitkörpers. D = Aufsteigen durch Entlastung.

Wir fragen uns nun: Wie kann die Belastungsgrenze an der Vorderseite einer Schub- oder Gleitmasse beschaffen sein?

Tritt die Belastungswirkung verhältnismäßig rasch ein, so dürfte wohl eine Verwerfung gebildet werden, welche sich ziemlich genau

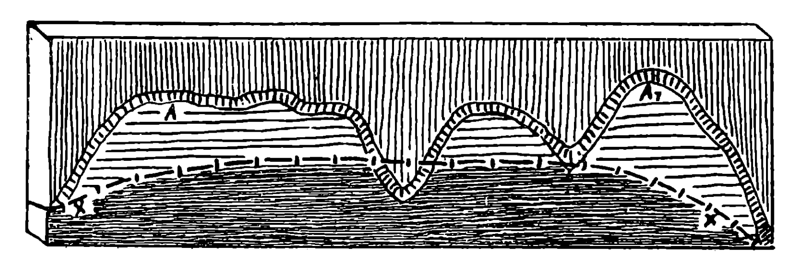


Fig. 2.

Die ausgezackte Lastdecke A—A1 erzeugt eine geradere Einpressungslinie X—X.

dem Vorderrand der Belastung anschmiegt. Dieses Anschmiegen folgt aber bestimmt nicht etwa den einzelnen kleineren Auszackungen der Belastungsgrenze, sondern stellt einen vereinfachten glatteren Zuschnitt vor. Insbesondere werden einzelne schmale Vorsprünge abgeschnitten und einzelne tiefere Einbuchtungen abgeschnürt werden. Fig. 2 gibt dazu ein Kartenbild.

Ist die Auswirkung der Belastungsgrenze schon geologisch älter, so besteht die Wahrscheinlichkeit, daß die Deckmasse inzwischen zurückgewittert ist, während die Schnittlinie der Verwerfung im Untergrunde festgehalten wird. So kann eine solche Verwerfungslinie unter Umständen beträchtlich vom derzeitigen Stande der Deckscholle entfernt sein, wie Fig. 3 andeutet.

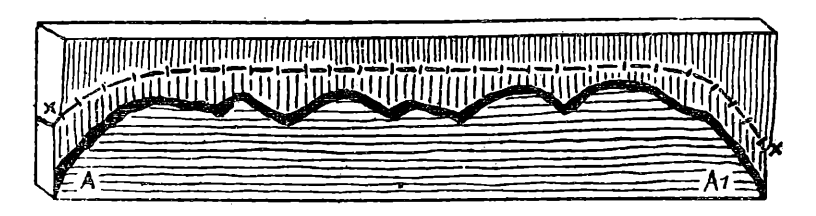


Fig. 3.
Die Belastungsgrenze X—X bildet einen älteren Rand der Lastdecke A—A1 ab.

Unter günstigen Umständen kann eine solche Verwerfung auch nach der völligen Abtragung der Deckmasse noch ein Zeugnis für ihr ehemaliges Vorhandensein ablegen. Die Länge der eine Deckscholle einsäumenden Verwerfung dürfte angenähert der Länge der Last entsprechen. Dagegen dürfte die Höhe der durch den Druck hervorgerufenen Verwerfung die Mächtigkeit der Lastscholle wohl nicht erreichen.

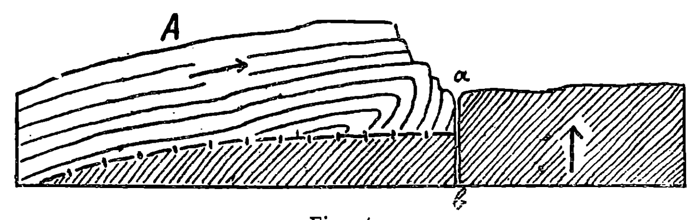


Fig. 4.
Die Lastdecke A hat den Untergrund entlang der senkrechten Verwerfung a—b eingedrückt.

Für die Inntaldecke kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit etwa eine Mächtigkeit von zirka 3000 m annehmen. Dies gilt natürlich nur, wenn zur Zeit der Aufladung auf der Trias noch die volle Juraschichtfolge vorhanden war. Von dieser Höhe von zirka 3000 m kann man, da ja genauere Messungen fehlen, wohl nur vielleicht einen Betrag von etwa 1000 m für die Einpressung als wahrscheinlich einschätzen.

Was nun die Form der Einpressung betrifft, so bietet, wie Fig. 4 andeutet, eine Ausführung mit einer vertikalen Trennungsfläche zwischen dem neubelasteten und dem unbelasteten Gebirgsteil die einfachste Lösung.

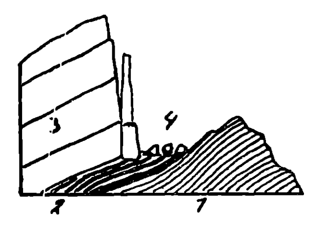


Fig. 5.

An der Nordseite der Rofanspitze im Sonnwendgebirge hat sich der entlastete Untergrund steil erhoben.

1 = Hauptdolomit und Plattenkalk.
2 = Kössener Schichten.
3 = Weißer Riffkalk.
4 = Sturzblöcke aus 3.

Abbildung aus den Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt — 1903, S. 47.

Diese Lösung hängt einerseits von der Größe der Last, anderseits von dem Widerstand des Untergrundes ab. Ist der Untergrund weich und nachgiebig, so wird die Eindrückung kaum mit einer scharfen Trennungsfläche, sondern eher mit einer Einbiegung erfolgen. Eine solche Einbiegung habe ich schon im Jahre 1903 von der Nordseite des Sonnwendgebirges abgebildet (Fig. 5). Hier liegt aber keine Aufladung einer neuen Last, sondern vielmehr eine Rückwitterung und also eine Befreiung von einer alten Last vor.

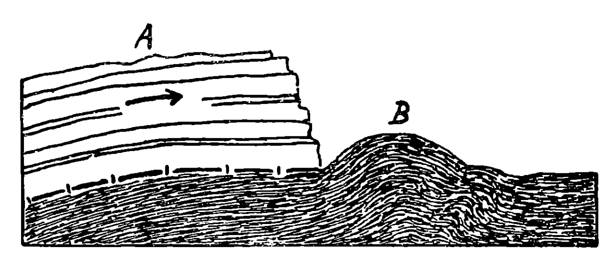


Fig. 6.

Vor der Lastdecke A hat sich eine Auftreibung des Untergrundes B gebildet.

Mit der Eindrückung einer schweren, neu aufgeladenen Last in eine nachgiebige Unterlage kann auch neben der Einbiegung eine Aufwulstung vor der Belastungsstirne verbunden sein, wie Fig. 6 ausführt.

Ein ungeheuer oft wiederholtes Experiment stellt in dieser Richtung das Eindrücken eines Siegelstockes in das erweichte Siegellack oder Wachs vor. Freilich ist hier der Materialunterschied zwischen Siegelstock und weichem Siegellack wesentlich

größer, als er bei geologischen Verhältnissen im allgemeinen zu erwarten ist.

Es ist hier am Platze, daran zu erinnern, daß schon vor vielen Jahren K. Diener die Überschiebungen an den Rändern der hohen Riffmassen der Dolomiten auf Ausquetschungen und Aufwulstungen der weichen Sockelschichten zurückführen wollte.

Mit der Rückwitterung der Stirnen von schweren Decken können unter günstigen Bedingungen hinter der vordersten Linie der Eindrückung auch noch weitere Eindrückungsränder zur Ausbildung kommen, wie Fig. 7 in schematischer Weise zum Ausdruck bringt.

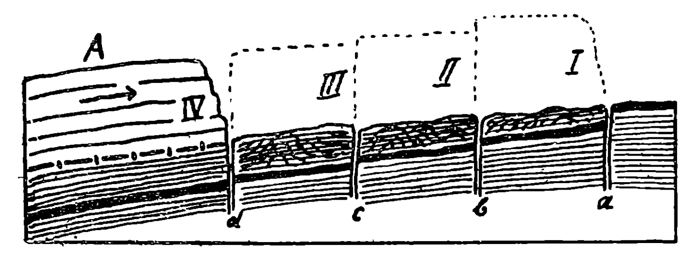


Fig. 7.
Von einer Lastdecke A sind die drei Stücke I, II, III bereits abgewittert und haben die Pressungsränder a, b, c, d zurückgelassen.

Dabei ist es wahrscheinlich, daß diese hinteren Eindrückungsränder im Verhältnis zum vordersten nur bescheidene Ausmaße erreichen können.

Während also an den Vorderrändern von Schub- oder Gleitschollen die Wahrscheinlichkeit besteht, daß Eindrückungsspuren der Belastung geologisch bestandfähig bleiben, sind die Erhaltungsmöglichkeiten von Entlastungsspuren an der Rückseite von wandernden Decken wesentlich ungünstiger.

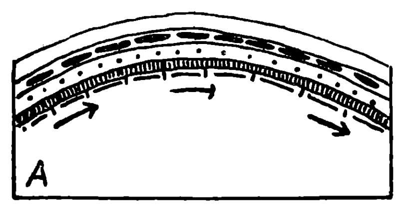
Wenn zum Beispiel bei einer Reliefüberschiebung ein altes Gewölbe überschritten und niedergedrückt wurde, kann nach einer späteren Befreiung von dieser Belastung eine Aufrichtung der alten Form stattgefunden haben, ohne daß dies, wie Fig. 8 andeutet, nachweisbar ist.

Das kann im Karwendel der Fall gewesen sein. Eine solche Aufrichtung der Sattelformen eines überfahrenen und niedergedrückten alten Reliefs kann, wenn gleichzeitig die Mulden noch belastet sind, eine Relieferhöhung vortäuschen.

Eine andere Art der Aufrichtung einer zerschnittenen alten Gewölbeform führt Fig. 9 im Schema vor. Sie besteht in einer

Steilerstellung der schon von einer älteren Erosion auseinandergeschnittenen Sattelflügel.

Freilich sind solche Aufrichtungswirkungen für sich allein nicht beweiskräftig, weil sie auch durch normale Erosion hervorgerufen werden können. In Wiederholungsfällen stärkt sich aber wohl ihre Beweiskraft.



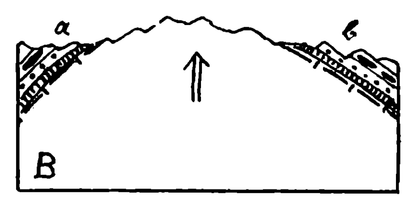
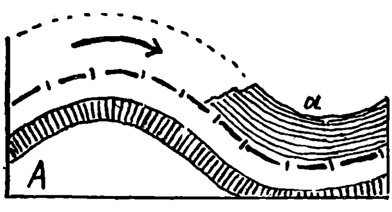


Fig. 8.

Eine Lastdecke hat das Gewölbe A überfahren. Durch Abwitterung der Lastdecke zu den zwei Resten a und b wird das Gewölbe A entlastet und steigt als Gewölbe B auf. Die Form B ist aber kein eindeutiger Beweis für nachträgliche Hebung.

Wir haben bisher die Annahme festgehalten, daß die Inntaldecke bei ihrer Aufladung unzerrissen geblieben ist. Es ist aber nötig, auch eine zerbrochene Decke in unsere Betrachtung einzuführen. Wenn die Unterlage, über welche die Aufladung erfolgt, eine glatte, ebene oder wenig verbogene Fläche darstellt, so erscheint eine Zerbrechung der mächtigen Deckmasse wenig wahrscheinlich. Ganz anders liegt aber der Fall, wenn die Unterlage stark verbogen oder bereits von der Erosion zerschnitten ist.



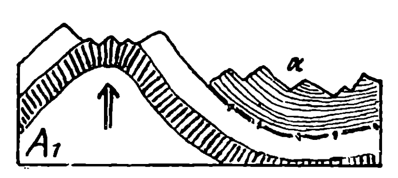


Fig. 9.

Ein Sattel A wird von der Schubmasse a überschritten. Der entlastete Sattel A 1 kann eine Entlastungshebung vorstellen. Dies ist aber nicht eindeutig zu beweisen.

Wenn es sich also zum Beispiel um eine Reliefüberschiebung handelt, so ist eine Zerreißung oder Zerbrechung oder Überkippung der Wanderdecke sogar recht wahrscheinlich. Ich habe eine

Reihe der hier möglichen Umformungen in den Beiträgen zur Auflösung der Mechanik der Alpen im Jahrbuch 1924 der Geologischen Bundesanstalt Wien bereits kurz beschrieben.

Hier gilt es aber, die Zerreißung der Deckmasse in Hinsicht auf Verschiebungen der Belastung zu prüfen. Sattel und Mulde sind auch für diese Prüfung die Leitformen.

Liegt quer zur Bahn einer Schub- oder Gleitmasse eine Sattelform, so kann diese unter Umständen eine völlige Abbremsung bewirken. In einem solchen Falle häufen sich die andrängenden Massen an der Stoßseite der Aufwölbung an. Dabei kann durch

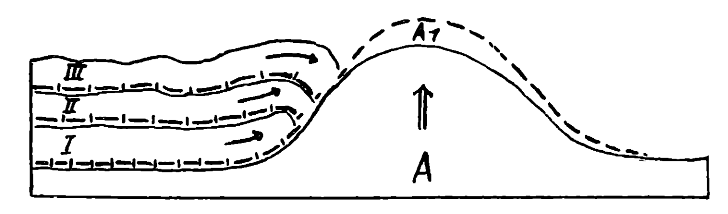


Fig. 10.
Die Schubmassen I, II, III fahren gegen den Sattel A, den sie aber nicht zu überschreiten vermögen. Durch ihre Anhäufung kann eine Hebung des Sattels A zu A 1 bewirkt werden.

Auftürmen von Schuppen eine besonders schwere Belastung zustande kommen, welche durch ihr Einsinken eine Auftreibung der Sattelform herbeiführen kann (Fig. 10).

Besitzen aber die vordringenden Massen genügend Kraft und Schwung, so ist es möglich, daß die Aufwölbung überschritten wird.

Es ist sogar möglich, daß durch das erleichterte Abfahren auf der Rückseite der Aufwölbung die vordersten Teile sich losreißen und so eine Teilung der Belastung entsteht. Eine solche Zerlegung der Belastung kann, wie Fig. 11 schematisch zeigt, unter Umständen ein Höhersteigen des Grundgewölbes veranlassen.

Ist das Streichen einer Aufwölbung schräg zu der Fahrbahn, so kann es zu einer Ablenkung der andrängenden Massen kommen.

Ähnliche Überlegungen lassen sich auch bei der Überfahrung von Mulden anstellen.

Hier ist zwischen breiten Mulden und schmäleren Kerben zu unterscheiden. Beide Formen können ebenfalls auf die Lastverteilung Einfluß gewinnen.

Stellt sich quer zur Fahrbahn eine breitere Mulde ein, so kann hier durch Einschoppung eine Hochbelastung zustande kommen.

Handelt es sich bei der Mulde nicht um eine Einbiegung, sondern um ein Erosionstal, so kann durch die Einschoppung das abgetragene Material tektonisch ersetzt werden.

Stellen sich in die Fahrrichtung querverlaufende tiefere Kerben, so können sie entweder mit weicherem Material ausgestopft werden oder Hemmungen für steifere Schollen bilden. Bleiben solche Schollen in der Kerbe stecken, so können beim weiteren Vordrängen Steilstellungen und Überkippungen ausgebildet werden. Eine besondere Steigerung der Belastung ist indessen auf diesem Wege wohl kaum zu erwarten.

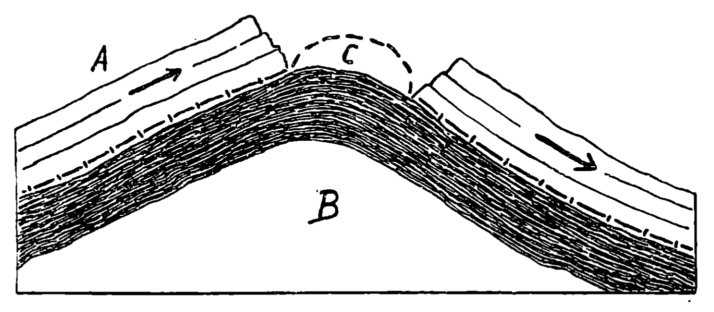


Fig. 11.
Die Lastdecke A überschreitet den Sattel B und gleitet jenseits ab. Dadurch entsteht eine Zerreißung der Decke, in welche dann der bewegliche Untergrund als Wulst C aufsteigen kann.

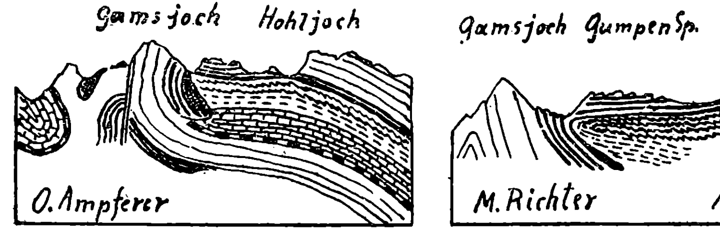
Nach dieser kurzen Überschau der Hauptmöglichkeiten für die Einwirkung von Belastungsgrenzen auf ihren Untergrund wenden wir uns den hiehergehörigen Bauformen des Karwendels zu, aus dessen Bergwelt ja der Gedanke an Belastungswirkungen für den Verfasser zuerst entsprungen ist.

Das Karwendelgebirge besteht im südlichen Teil aus einem bis 2750 m aufragenden Hochgebirge, dem ein nördliches Vorgebirge mit Höhen bis zu 2200 m angegliedert ist. Während das Hochgebirge aus unterer und mittlerer Trias besteht, sind am Aufbau des Vorgebirges vor allem Hauptdolomit und jüngere Schichten bis zur Unterkreide beteiligt.

Der Höhenunterschied von zirka 500 m könnte am einfachsten durch Hebung des Südteiles oder Senkung des Nordteiles herbeigeführt worden sein. Nach der Erkenntnis, daß aber der Südteil aus zwei übereinandergeschobenen Decken (Lechtaldecke und Inntaldecke) besteht, der Nordteil aber nur aus der Lechtaldecke, ist diese Deutung hinfällig geworden.

Macht man die Annahme, daß die Aufladung der Inntaldecke in einer Mächtigkeit von zirka 3000 m erfolgte, so ist ein Höhenunterschied von zirka 500 m nicht nur leicht erklärlich, sondern sogar auffallend gering, auch wenn man bedenkt, daß ein höheres Gebirge schärfer als ein niedrigeres abgetragen wird.

Der Gedanke, daß durch die Aufladung der schweren Masse der Inntaldecke der südliche Teil des Karwendels kräftig niedergedrückt wurde, scheint für diese Verhältnisse einen brauchbaren Ausweg zu bieten.



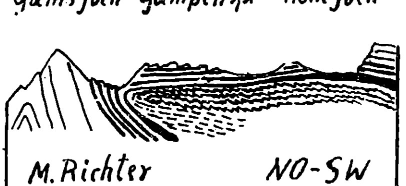


Fig. 12.
Vergleich der tektonischen Bauerklärung des Karwendels von Ampferer und Richter als Reliefüberschiebung oder als Deckenfaltung. Schichtfolge wie beim Querschnitt 17.

Das südliche Karwendel besitzt die Eigentümlichkeit, daß an seinem Nordrande große umgestürzte Triasschollen angeordnet sind. Für ihre tektonische Deutung kommen vor allem zwei Erklärungen in Betracht.

Die Überkippungen können infolge von Überfaltung oder von Überschiebung entstanden sein. Im ersten Falle würde es sich um sogenannte Deckenfaltung handeln, im zweiten um Reliefüberschiebung, wobei die vordersten Teile in Furchen des Untergrundes beim Vorschub erst festgehalten und dann überkippt worden sind.

Fig. 12 gibt die schematischen Grundlinien dieser zwei Deutungen an. Ich selbst habe mich seit 1924 mit der Deutung als Reliefüberschiebung fortlaufend beschäftigt, während E. Kraus (1936) und M. Richter (1937) der Deutung als Deckenfaltung den Vorzug gegeben haben. Nun kann an einem einzelnen Überkippungsfalle je nach den Aufschlüssen eine Entscheidung zwischen diesen zwei Deutungen schwierig sein.

Wenn sich aber, wie es im Karwendel vorkommt, im gleichen Profilschnitt zwei bis drei Überkippungen enge hintereinander

wiederholen, so versagt die Deutung mit Deckenüberfaltung völlig. Während eine mehrmalige Überkippung bei der Überschreitung eines Gebirgsreliefs ohne weiteres möglich ist, erscheint eine Wiederholung von enggereihten Überfaltungsstirnen ausgeschlossen.

Fig. 13 legt diese Verhältnisse zur graphischen Einsicht vor. Eine derartige Engreihung von Überkippungen, wie sie zum Beispiel der Falkenkamm enthüllt, ist mit der Mechanik von Überfaltungen nicht zu erreichen.

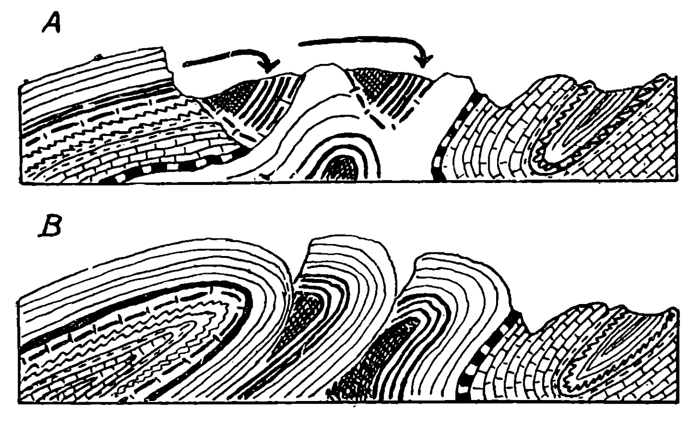


Fig. 13.

A = Für die Erklärung mit Hilfe von Reliefüberschiebung bedeutet eine Wiederholung von benachbarten Überkippungen keinerlei Schwierigkeit.
B = Für die Erklärung mit Hilfe von liegenden Deckenfaltungen ist eine enge Wiederholung von Überkippungen nicht brauchbar.

Ich habe im Jahre 1928 die Reliefüberschiebung des Karwendels im Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt Wien eingehender beschrieben. Damals schien es mir noch möglich, mit einer einzigen großen Reliefüberschiebung das volle tektonische Auslangen zu finden. Inzwischen hat sich bei der Neuaufnahme des östlichen Karwendels gezeigt, daß nicht mit einer, sondern mit zwei Reliefüberschiebungen zu rechnen ist.

Während von der älteren nur Schollen von älterer Trias erhalten geblieben sind, bestehen die Überreste der jüngeren aus Raibler Schichten und Hauptdolomit. Freilich haben die Reste dieser jüngeren Reliefüberschiebung nicht mehr die große Ausdehnung der älteren Restschollen.

Es ist nun aber mit der Erkenntnis der Zweiteilung der Reliefüberschiebungen noch nicht das Inventar der Baubewegungen des

Karwendels erschöpft. Vielmehr ist hier durch die Aufladung der schweren Inntaldecke noch eine neue, bisher unverstandene Störungsgruppe dazugekommen. Wenn wir dem Nordrand der Inntaldecke entlang wandern, so begegnen wir hin und hin einer Störung, welche die Abgrenzung gegen das Vorgebirge bildet.

Dieses Vorgebirge beginnt mit steilgestellten Partnachschichten und Wettersteinkalt, der sich nordwärts über Raibler

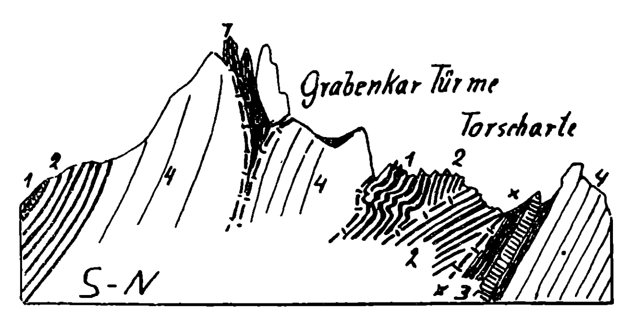


Fig. 14.

Im Querschnitt der Grabenkartürme liegen drei überkippte Schollen der Inntaldecke vor, welche sich entlang der Fläche X—X auf die ebenfalls überkippte Trias des Karwendelvongebirges legen. Entlang von X—X ist das Karwendelvorgebirge kräftig gegenüber der Anschoppung der Inntaldecke gehoben.

1 = Reichenhaller Rauhwacken. 3 = Partnachschichten.
2 = Muschelkalk. 4 = Wettersteinkalk.

Schicht, Hauptdolomit und Kössener Schicht bis in die Jura- und Kreideschichten ergänzt. Die Anlagerung der Inntaldecke ist so vollzogen, daß sich die überkippten Alttriasschollen unmittelbar an die gegen Süden einfallenden Platten des Wettersteinkalkes legen, wie Fig. 14 andeutet. Es ist also zwischen dem Nordrand der Inntaldecke und dem Südrand des Vorgebirges eine mächtige Verstellung vorhanden, deren Ergebnis eine starke Senkung der Inntaldecke gegenüber dem Vorgebirge bedeutet.

Wäre die Inntaldecke diesem Vorgebirge nur einfach aufgeschoben, so müßte ihr Nordrand eine wesentlich höhere Stellung einnehmen. Ich habe 1928 den Südrand des Karwendelvorgebirges für eine tief eingeschnittene Erosionsfurche gehalten. Für diese Auffassung spricht zum Beispiel das prachtvolle Profil am Westende des Karwendels bei der Porta Claudia ebenso wie jenes des Stanser Joches an seinem Ostende.

Es ist nicht zu bezweifeln, daß die vordersten Reste der Inntaldecke hier in alten Talfurchen eingeschoben liegen, welche heute noch die Talböden unterteufen.

Ein geschlossener Nordrand der Inntaldecke tritt uns aber erst entlang des Vomper-Hinterautalkammes zwischen Vomper Joch und Hochalmsattel entgegen.

Hier haben wir einerseits die Riesenwand der geschlossenen Inntaldecke, anderseits darunter die überfahrene Zone von weit jüngeren Juraschichten. So wären also für die Erkenntnis von Einpressungen gute geologische Vorbedingungen gegeben. Aus der langen Wandflucht der Inntaldecke springen hier gegen Norden sieben Seitengrate vor. Es sind dies von O gegen W die kurze Rippe des Bärenköpfels, dann vom südlichen Lamsjoch der lange Kamm zum Stanser Joch, vom nördlichen Lamsjoch der Kamm zum Sonnjoch, weiter von der Schafkarspitze der kurze Grat des Kaiserkopfs, vom Hohljoch der mächtige Kamm des Gamsjochs, vom Spielißjoch der Kamm der Falken und endlich von der Moserkarscharte der kurze Vorsprung des Sauißkopfes.

Untersucht man nun die Auflagerungsfläche der Inntaldecke auf dem langen Bande der Juraschicht, so trifft man zwar hin und hin deutliche Anzeichen von Auswalzung und Überfältelung der nachgiebigen Juraschichten, die sich aber wohl restlos auf den Vorgang der Überschiebung zurückführen lassen. Wir sind durch die Überlegungen der Einleitung aber schon vorbereitet, die Spuren von Einpressungen nicht unmittelbar am Fuße der heutigen Steilwände, sondern in einem gewissen Abstand davon aufzusuchen, weil seit der Aufladung der Inntaldecke eine Rückwitterung ihres Randes stattgefunden hat.

Als ersten Seitengrat ziehen wir den Nordgrat der Fiechter Spitze zum Bärenköpfl in Betracht. Hier ist die Aufschiebung der Inntaldecke auf die jungen Schichten prachtvoll zu sehen. An der Schubfuge treten noch Spuren von gelben Rauhwacken der Reichenhaller Schichten sowie lichtgrüne Sandsteine des Haselgebirges auf.

Anzeichen einer mächtigen Einpressung treten erst am Bärenköpfel in der Verlagerung der Raibler Schichten offen zutage. Es ist hier aber zu bedenken, ob diese Einpressung nicht mit der großen Bergzerreißung zusammenhängt, welche den Gipfel der Fiechter Spitze von ihrem Hinterlande ablöst und zum Absinken gegen das Stallental gebracht hat. An und für sich ist die Verbindung der Einpressung des Bärenköpfels mit der jüngeren Bergzerreißung wohl wahrscheinlicher als mit einer Einpressung durch die Inntaldecke.

Im Bereiche des Zwillinggebildes der Lamsjöcher strahlen von der Inntaldecke zwei mächtige Querkämme aus, von denen der östliche zum Stanser Joch, der nördliche zum Sonnjoch leitet. Beide Kämme werden von einer scharfen Störung zerschnitten, welche mit dem Kammverlauf der Inntaldecke ungefähr parallel verläuft.

Diese Störung prägt sich zwischen Schafjöchl und Rauhem Knöll in den tiefen Einschnitt der Schneiderschar aus. Diese schroffe Scharte ist gerade in eine Sattelzone des Hauptdolomits eingeschnitten. Die Störung überschneidet dann das hinterste Falzthurntal und schwingt sich jenseits steil zum nördlichen Lamsjoch empor. Während in der Scharte der Schneiderschar keine fremden Schichten auftauchen, finden wir in der Fortsetzung der Störung zwischen scharfgeschnittenen, steilen Schubflächen einen Keil von Oberrätkalk und eine Zertrümmerungszone von Hauptdolomit tief eingeschaltet. Auf dem Oberrätkalk liegen am nördlichen Lamsjoch noch Kössener Schichten sowie Liasfleckenmergel mit Scherben und Linsen von Manganschiefern.

Auch diese Störung kann nicht als eine Druckwirkung am Rande der Inntaldecke gedeutet werden.

Etwa 1 km weiter westlich springt aus der Nordwand der Inntaldecke der schmale und mit scharfen Zähnen bewaffnete Kamm des Kaiserkopfes gegen N vor. Er besteht aus Muschelkalk, der mit einer dünnen Leiste von Rauhwacken unmittelbar auf den scharfgewalzten Juraschichten lagert. Der Grat ist zwar sehr zerklüftet, aber eine Druckwirkung der Einpressung der Inntaldecke ist nicht erkenntlich.

Der nächste große Seitenkamm ist jener des Gamsjoches, der vom Nordrande der Inntaldecke am Hohljoch abzweigt.

Hier ist die Auflagerung einer schmalen, zackigen Zunge der Inntaldecke auf Juraschichten auf eine Strecke von $2^1/_4$ km beidseitig frei zu beobachten. Die Auflagerungsfläche ist nördlich vom Hohljoche kurz und scharf aufgebogen, sonst aber nur flach gewellt. Wenn man in acht nimmt, daß dieser Vorsprung der Inntaldecke auf $2^1/_4$ km noch heute erhalten ist, so stellt er einen ausgezeichneten Beweis vor, daß hier keine größere Einpressung durch die Inntaldecke nachweisbar ist.

Der nächste Querkamm der Falken, der vom Spielißjoch nach Norden strebt, besitzt auf zirka $1^1/_2$ km noch die Unterlage der Juraschichten, auf denen am Ladizköpfl noch eine Deckscholle von Reichenhaller Kalken lagert. Hier ist eine schwache Senkung der Auflagerungsfläche der Inntaldecke auf den Juraschichten bemerk-

bar. Dann verschwindet am Ladizjöchl an einer steilen Störung die Unterlage der Juraschichten, von denen wir aber weiter nördlich bis zum südlichen Falken noch verschleppte Fetzen begegnen, die ich schon 1902 aufgefunden hatte.

Untersuchen wir die Nordwand der Inntaldecke noch weiter westwärts, so treffen wir am Sauißköpfl unterhalb der Laditzer Flecken einen größeren Aufschluß von gewalzten Juraschichten, welche flach gegen N zu abfallen. Der Aufschluß hat keine Fortsetzung gegen N, da hier riesige Blockmoränen der Schlußvereisung alles verhüllen. Erst nördlich des kleinen Ahornbodens hebt sich die überkippte Scholle der Filzwand empor. Etwa 4 km nordwestlich vom Sauißköpfl stoßen wir dann noch südlich des Hochalmsattels bei der Quelle des Karwendelhauses auf eine steil eingeklemmte Schuppe von Juraschichten, die aber von ihrer normalen Unterlage abgeschert und auf Rauhwacken der Reichenhaller Schichten vorgeschoben liegt.

Für unsere Fragestellung vermag dieser Aufschluß keine Auskunft zu geben, weil diese Juraschichten sich offenbar schon in verschleppter Lagerung befinden.

Der westliche Aufschluß des Karwendels, wo unter der Inntaldecke noch Juraschichten auftreten, befindet sich an der Ostseite der Porta Claudia. Die hier an zwei Stellen eingeschalteten Juraschichten sind aber ebenfalls von ihrem normalen Untergrund vollkommen abgeschert. Sie sind von einem wilden Schuppenbau aus Wettersteinkalk, Muschelkalk und Reichenhaller Schichten überlagert und können so auf unsere Frage auch keine Antwort geben.

Unsere Prüfung des auch heute noch geschlossenen Nordrandes der Inntaldecke zwischen Vomper Joch und Hochalmsattel hat also ergeben, daß hier am Maßstab der flachen Unterlagerung durch die jungen Schichten keine irgendwie ausgesprochene Belastungsgrenze ablesbar ist. Dabei ist hier eine Rückwitterung des Nordrandes der geschlossenen Inntaldecke um einen Betrag von $2^1/_4$ km geologisch sichergestellt.

Nun liegt aber erst nördlich von der Grenze der Unterlagerung durch die jungen Schichten die immerhin bis zu 7 km breite Zone der Alttriasschollen.

Diese Zone erreicht zwischen Bärenköpfel und der Kreidemulde von Gütenberg eine Breite von zirka 7 km, welche sich westwärts im Bereiche des Hochalmsattels auf zirka 3 km verschmälert. Diese Verschmälerung ist offenbar durch ein weiteres Vorgreifen der geschlossenen Inntaldecke herbeigeführt. Entspricht diese Annahme der Wirklichkeit, so steht unserer Einsicht im

östlichen Karwendel eine breite Zone des Untergrundes der Inntaldecke offen, im westlichen dagegen die Eindeckung desselben durch diese Bewegungsmasse.

Ich habe schon im Jahre 1903 im Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt meiner Beschreibung des nördlichen Teiles des Karwendelgebirges ein tektonisches Schema beigelegt, auf welchem diese Verschiedenheit zwischen dem östlichen und westlichen Karwendel klar hervortritt. Weiter erscheint auf diesem Schema auch die Rolle des Stanser Jochgewölbes eindrucksvoll betont.

Ich war damals und auch noch viele Jahre später davon überzeugt, daß dieses tiefabgetragene Gewölbe mit der Einstopfung von von Alttrias in den Erosionswunden seines Scheitels schon zur Zeit der Aufschiebung der Inntaldecke ein Hochgebiet vorstellte.

Es ist eine hier unmittelbar naheliegende Vorstellung, welche auch mit den Angaben der Detailtektonik gut vereinbar ist.

Wenn man aber die Möglichkeiten von Belastungswirkungen durch die Inntaldecke prüfen will, so muß man auch ein Aufsteigen des Gewölbes des Stanser Joches infolge einer Entlastung mit in die Betrachtung hereinziehen. In diesem Falle könnte die tiefe Einpressung durch die Aufladung der Inntaldecke durch ein Aufsteigen des entlasteten Stanser Jochgewölbes innerhalb von gewissen Grenzen kompensiert sein. Das Gewölbe des Stanser Joches zeigt ein streng ostwestliches Streichen und erreicht heute noch eine Höhe von über 2100 m. Das Gewölbe sinkt gegen O stark ab, wobei es sich bei Jenbach auch scharf verschmälert. Außerdem wird das Gewölbe hier durch den Muschelkalkriegel des Thierbergs im Streichen schräg abgeschnitten, vielleicht auch nur gegen das Sonnwendgebirge hin nordwärts abgedrängt.

Dieser Muschelkalkriegel im Inntal gehört bereits zum Besitz der Inntaldecke.

Gegen W hin behält die Fortsetzung des Stanser Jochgewölbes ungefähr ihre Höhe, doch unterliegt sie einer viel tieferen Zerteilung. An der Süd- und Nordseite des Stanser Joches lagern Schollen der Inntaldecke, welche hier einerseits die Sohle des Inntals, anderseits jene des Falzthurntales unterteufen. Auf dem Scheitel des Stanser Jochs befinden sich nur bescheidene Reste der Inntaldecke aus Alttrias sowie aus Raibler Schichten und Hauptdolomit.

Eine an sich unbedeutende Abtragung wäre hier schon imstande, diese Reste zu entfernen.

Versucht man nun, in diese Gestaltung die Annahme einer nachherigen Auftreibung durch seitliche Belastung und Entlastung des Scheitels des Stanser Joches einzubauen, so kann hier diese

Annahme weder bewiesen, noch abgewiesen werden. Es ist unbedingt möglich, daß das Gewölbe zur Zeit der Aufladung der Inntaldecke erheblich niedriger war und erst später durch Entlastung höher aufgestiegen ist.

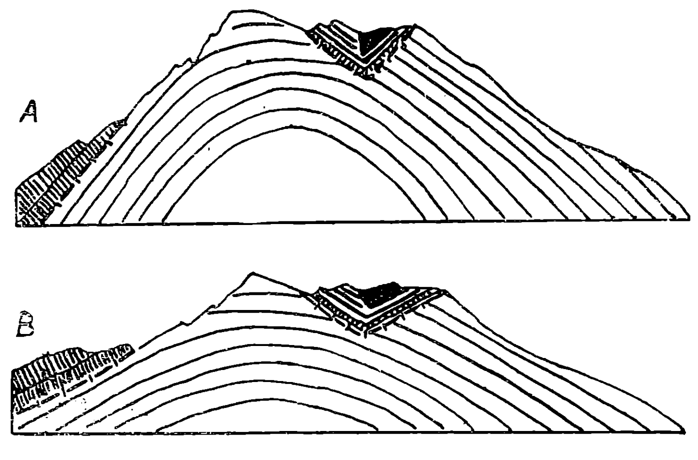


Fig. 15.

A = Reliefüberschiebung des Stanser Jochs im heutigen Zustand.
Rückführung der hohen Aufwölbung als Entlastungsform auf das ursprüngliche, vielleicht um 500 bis 600 m niedrigere Gewölbe B.
Durch diese Senkung würde noch keine Störung in die Gesamttektonik kommen.

Fig. 15 vermittelt in Umrissen den Vergleich zwischen der alten und neuen Deutung. Wir erkennen, daß eine aufsteigende nachträgliche Bewegung im Ausmaß von 500 bis 600 m hier tektonisch möglich ist.

Setzen wir unsere Betrachtung weiter westwärts fort, so gelangen wir zunächst in den Bereich des hohen Sonnjochs. Hier ist es leicht möglich, eine nachträgliche Teilhebung hineinzudenken, die ihren Ausdruck unmittelbar in der gewaltigen, blanken Nordwand findet. An dieser von der Erosion nur wenig zerstörten Wand könnte eine Vertikalbewegung im Betrage von zirka 1000 m vor sich gegangen sein, welche den Gewölbekern des Sonnjoches einseitig hochgehoben hat. Diese Hebung durchbricht ganz deutlich den älteren Überschiebungsbau.

Fig. 16 zeigt die Grundlinien dieser jüngeren Hebungswirkung im Schema übersichtlich an.

In dem westlich benachbarten Querkamm des Gamsjoches läßt sich diese jüngere Hebungswelle unschwer wiedererkennen. Auch

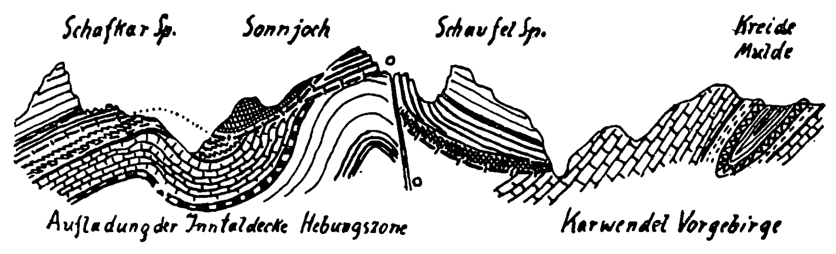


Fig. 16. Schematischer Querschnitt.
Schafkarspitze, Sonnjoch, Schaufelspitze, Kreidemulde.

hier hat die Heraushebung an einer steilen, scharf geschnittenen Wandfläche stattgefunden, die den älteren Bauplan schroff durchbricht (Fig. 17).

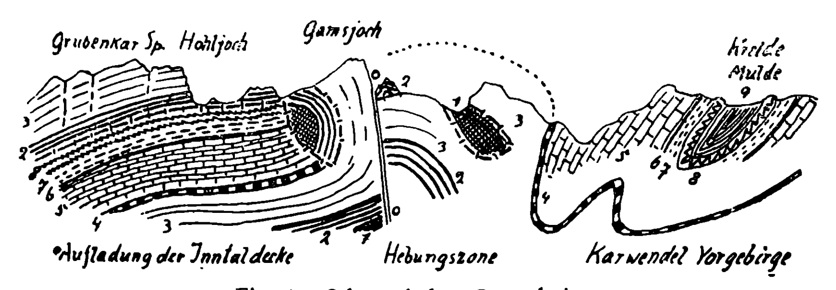


Fig. 17. Schematischer Querschnitt.
Grubenkarspitze, Hohljoch, Gamsjoch, Kreidemulde.

Lechtaldecke:
1 = Haselgebirge-Reichenhaller Schichten.
2 = Muschelkalk.
3 = Wettersteinkalk.
4 = Raibler Schichten.
5 = Hauptdolomit und Plattenkalk.
6 = Kössener Schichten.
7 = Liasschichten.
8 = Hornsteinkalke und Aptychenkalke.
9 = Neokommergel.
—|—|— Bewegungsbahn.

Inntaldecke:
1 — 2 — 3
o—o = Belastungsgrenze.

Wir finden auch hier an der Südseite der Fortsetzung des Stanser Jochgewölbes eine tiefe Senkung, in welcher eine mächtige Scholle der Inntaldecke ruht. An der Nordseite der steilen Störung treffen wir dann das von der Erosion tief zerschnittene Gewölbe

mit Resten der Inntaldecke in erhobener Stellung. Vereinigt man diese Befunde in einem längeren Profil, so tritt die Aufwölbung am Nordrande der aufgeladenen Inntaldecke klar zutage.

Auch im westlichen Karwendel tritt in der Grenzzone der Aufladung der Inntaldecke eine Hebungswelle der unbeladenen Lechtaldecke in Erscheinung, für deren Erklärung man die Belastung durch die Inntaldecke in Betracht ziehen kann. Wenn man hier den Querschnitt von Fig. 18 genauer besichtigt, so gewinnt die An-

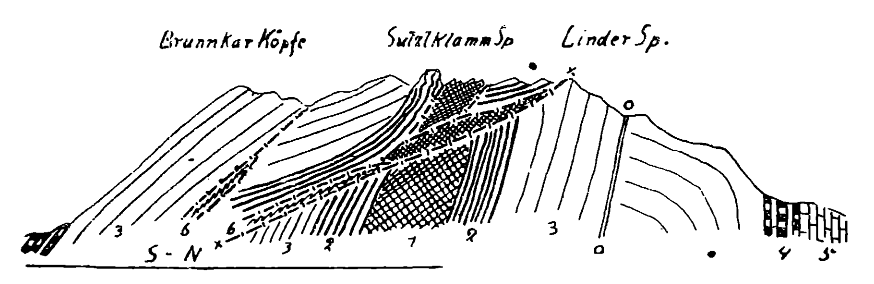


Fig. 18.

Querschnitt östlich der Porta Claudia. Die Inntaldecke ist in fünf Schuppen zerteilt und auf das tieferodierte Triasgewölbe der Lechtaldecke aufgefahren. Zwischen dem Schuppenbau sind zwei verschleppte Fetzen von jungen Schichten der Lechtaldecke eingeschaltet.

1 = Reichenhaller Schichten. 4 = Raibler Schichten.
2 = Muschelkalk. 5 = Hauptdolomit.
3 = Wettersteinkalk. 6 = Aptychenkalk.
×—× = Hauptschubbahn. o—o = Belastungsgrenze.

nahme einer erst nach der Aufladung der Inntaldecke erfolgten Hebung des Südrandes des Karwendelvorgebirges an Deutlichkeit und Leben. Hier findet auch die tiefe Einpressung der Inntaldecke in der Erhaltung der mächtigen Seefelder Gruppe übertags einen leicht lesbaren Ausdruck.

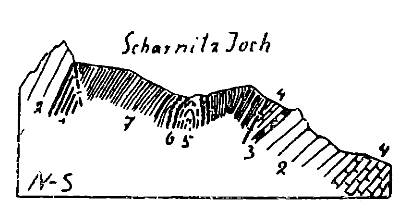
Damit sind wir an dem tiefen Einschnitt der Porta Claudia und am Westende des Karwendels angelangt.

In dem nun westlich anschließenden Mieminger Wettersteingebirge sind ebenfalls nachherige Hebungswirkungen zu erkennen, die an zwei Beispielen beleuchtet werden sollen.

Entlang der schroffen Südseite des Wettersteingebirges zieht ein enggefalteter Streifen von Jura- und Kreideschichten hin, welche offenkundig die Fortsetzung der jungen Schichtzone bilden und die im Karwendel weithin von der Inntaldecke überschoben sind. Hier ist ihre Einschaltung in den Einzelheiten etwas anders. Wie das

Profil des Scharnitzjoches (Fig. 19) lehrt, handelt es sich nicht um eine Mulde, sondern um eine steile, etwas gegen S überkippte Aufsattelung von Kreidemergeln mit Jurakernen. Weiter gegen W ist die Verfaltung von Jura und Kreide noch lebhafter, aber auch kleinwelliger.

Dieser Streifen von enggefalteten, jungen Schichten wird nun im S und N von Triaskalken begleitet, welche durch Schubflächen scharf davon getrennt werden. Die steile Auffaltung der jungen



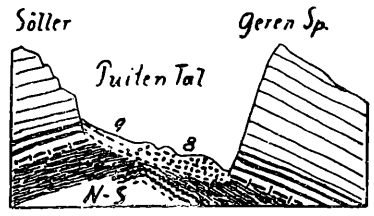


Fig. 19.

Zwei Querschnitte an der Südseite des Wettersteins. Die flache Aufschiebung der Inntaldecke im Puintentale geht westwärts am Scharnitzjoch bereits in eine Steilstellung mit Aufpressung der jungen Schichen über. Diese Aufpressung wurde durch eine Zerreißung der Inntaldecke sowie einen Anschub der Mieminger Scholle herbeigeführt.

1 = Muschelkalk.
2 = Wettersteinkalk.
3 = Raibler Schichten.
4 = Hauptdolomit.
5 = Liasschichten.
6 = Hornsteinkalke und Aptychenkalke.
7 = Neokommergel.
8 = Blockmoränen.
9 = Hangschutt.

Schichten ist aber nur auf den relativ schmalen Kanal zwischen den Triasrändern von Wetterstein- und Mieminger Gebirge beschränkt. Sowohl im O als auch im W verschwinden die Steilfaltungen zugleich mit dem Auseinanderweichen der Triaskalke. Man kann die beiden Triasränder nicht unmittelbar miteinander zu einem Sattel über den Jurakreidekern hin verbinden. Eine solche Verbindung ist aber noch im O zwischen Dreitorspitze und Gerenspitze möglich. Im westlichen Abschnitt ist am Nordrand der Mieminger Scholle offenbar eine Überkippung eingetreten.

Begibt man sich aber westwärts ins Ehrwalder Becken, so kann man sehen, daß die jungen Schichten sowohl die mächtige Mulde des Wettersteingebirges als auch Mulde und Sattel des Mieminger Gebirges unterlagern und dann in die Lechtaler Alpen weiterstreichen. Hier fehlen aber die Kreidemergel, und es ist wahrscheinlich, daß sie im O doch nur unter dem Deckmantel der aufgeladenen Inntaldecke vor der Abtragung bewahrt geblieben sind.

Die auffallend hohe und enge Auffaltung der jungen Schichten zwischen Mieminger und Wettersteingebirge kann man ebenfalls als eine Aufstiegsbewegung in eine Zerreißungsspalte der Inntaldecke verstehen, wie Fig. 20 anzudeuten versucht.

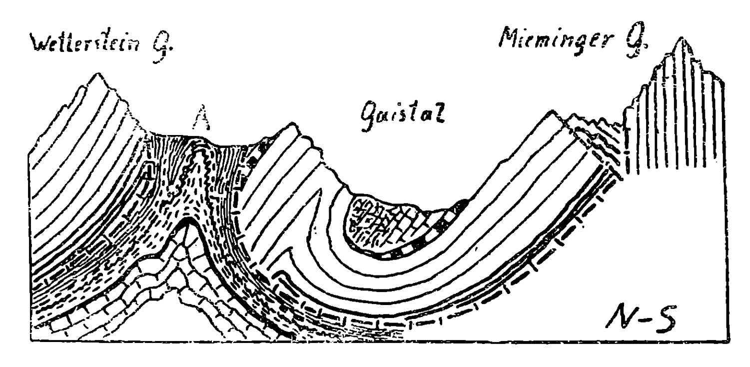


Fig. 20.

Erklärungsschema für den Bau der Jungschichtzone A zwischen Mieminger und Wettersteingebirge als Aufpressung des Untergrundes, die durch eine Zerreißung der Inntaldecke ermöglicht wurde.
Es ist die Ähnlichkeit mit dem Bau der „Salzekzeme“ nach Lachmann unverkennbar.

Inntaldecke: Muschelkalk, Wettersteinkalk, Raibler Schichten, Hauptdolomit.
Lechtaldecke A: Hauptdolomit, Kössener Schichten, Liasschichten, Hornsteinkalk-Aptychenkalk, Neokom.

Ich habe mich noch 1912 gegen die tektonische Gleichschaltung der beiden Gebirge im Sinne von O. Schlagintweit ausgesprochen, hauptsächlich weil im N des Wettersteingebirges keine scharfe Abgrenzung gegen die überfahrene Lechtaldecke zu finden ist. Diese Fraglichkeit ist auch heute noch vorhanden und daher die ursprüngliche Deutung einer O-W-Verschiebung der Wettersteinscholle von mir und O. Reis nicht ausgeschaltet.

Will man an einer zusammenhängenden Aufladung der Inntaldecke von S her festhalten, so wäre etwa anzunehmen, daß der vordere Teil dieser Decke sich losriß und so eine Spalte entstand. In diese Spalte wurde dann das weiche und feingeschichtete Material der Jura- und Kreideschichten durch die schwere seitliche Belastung hochgepreßt. Die schon erwähnte Überkippung des Nordrandes der Mieminger Scholle könnte möglicherweise bei dieser Zerreißung oder einem späteren Nachschub entstanden sein.

Das Mieminger Gebirge endet mit dem Abbruch des Wannecks gegen den tiefen Einschnitt des Fernpaßtales und bietet uns gute und lehrreiche Aufschlüsse von über 1500 m Höhe, über welche Fig. 21 berichtet.

Im N besteht die Lechtaldecke aus einem Gewölbe von Hauptdolomit und Plattenkalk mit einem Kern von Gips, über dem dann Kössener Schichten sowie Juraschichten folgen, die bergauf immer steilere Stellungen einnehmen. Sie grenzen mit einem schmalen und lotrechten Gewölbe an einen Streifen von zertrümmertem Dolomit,

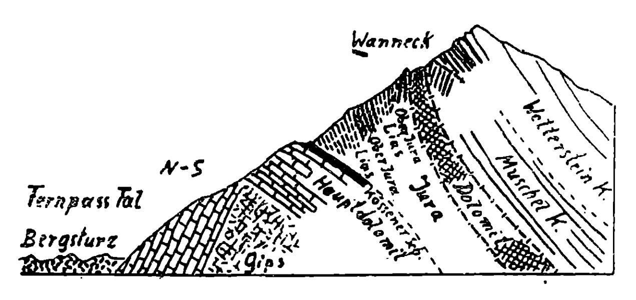


Fig. 21. Querschnitt des Wannecks nach den Aufschlüssen zum Fernpaßtal. Am Nordrande der Inntaldecke findet hier ein steiler Auftrieb der Jungschichtzone der Lechtaldecke statt, der als Entlastungswirkung deutbar ist.

über dem dann auf einer neuerlichen Schubbahn erst die hornsteinreiche Muschelkalkfolge und der großoolithische Wettersteinkalk des Wannecks lagert.

Betrachtet man die hier offenliegende Aufschiebung der Inntaldecke mit einer Neigung von zirka 60°, so wird man von der Unmöglichkeit einer Befahrung einer so steilen Fläche überzeugt. Hier bedeutet daher die Annahme einer nachherigen Versteilung der Fahrbahn durch ein Aufsteigen der unbelasteten Lechtaldecke eine brauchbare tektonische Lösung des Baubildes.

Von der tiefen Furche des Fernpaßtales zieht die Schubfläche an der Basis der Inntaldecke an der Nordseite der hohen Kalkmauer der Heiterwand gegen W weiter. Hier besitzen wir nun durch den Bergbau St. Veit den schönen Aufschluß von Fig. 22, der ebenfalls wieder zeigt, daß sich die von der Belastung befreiten Schichten der Lechtaldecke gegen oben drängen und anschwellen. Ich hielt diese Erscheinung bisher für eine Schoppungswirkung an der Stirne der vordringenden Inntaldecke, es kommt aber auch die Deutung einer Entlastungswirkung in Betracht.

Deutlich kommt eine Entlastungswirkung an der Deckscholle des Laagersberges südlich von der Gosaumulde des Muttekopfes zum Ausdruck. Es handelt sich um einen Rest der Krabachjochdecke, welche hier noch im Hangenden der Inntaldecke erhalten ist.

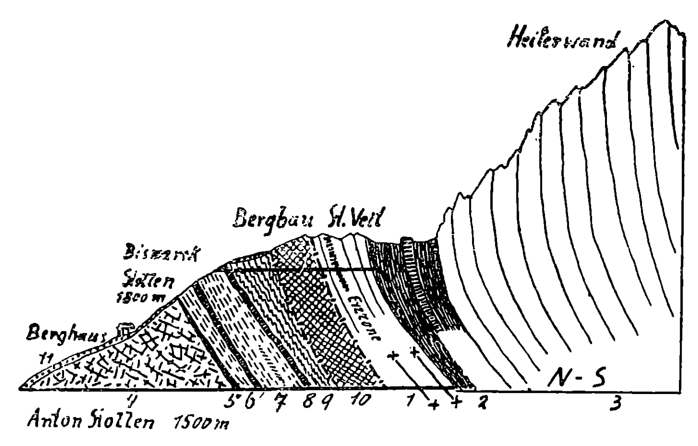


Fig. 22. Querschnitt durch den Zinkbergbau St. Veit.
Die Aufschlüsse dieses Bergbaues, welche die Erze im Muschelkalk aufsuchen, liegen so günstig, weil seine Stollen gerade die Lechtaldecke unter der Riesenmasse der Inntaldecke völlig durchstoßen. Dabei zeigt die Jungschichtzone eine deutliche Aufrichtung infolge von Entlastung.

Inntaldecke:
1 = erzführender Muschelkalk.
2 = mächtige Partnachschichten.
3 = Wettersteinkalk.

Lechtaldecke:
4 = grobgebrochener Hauptdolomit.
5 = Kössener Schichten.
6 = Liasfleckenmergel.
7 = Liasfleckenmergel mit Manganschiefern.
8 = Hornsteinkalke.
9 = Aptychenkalke.
10 = feinzerdrückter Hauptdolomit.
11 = Grundmoränen.
×—× = erzführende Schubflächen.

Fig. 23 führt eine Ansicht der Bauverhältnisse von der Westseite vor. Hier ist durch die Zurückschiebung der Gosauschicht auch eine zeitliche Angabe gewinnbar. Die Krabachjochdecke stößt mit nahezu senkrechter Grenze und Zwischenschaltung von Fetzen von Raibler Schichten und zertrümmertem Hauptdolomit an die aufgebogenen Konglomerate, Sandsteine, Mergel der Muttekopf Gosau.

Diese Grenzbildung wird leichter verständlich bei der Annahme, daß eine anfänglich viel flachere Lagerung der Deckscholle durch Eindrückung des Untergrundes und Auftreibung der Gosauschichten erst später in die heutige Lagerform umgewandelt wurde.

Von der Heiterwand setzt sich der Nordrand der Inntaldecke geradlinig westwärts über die Ortschaften Boden und Gramais bis zum Eingang ins Madauer Tal fort und biegt am Westabfall der

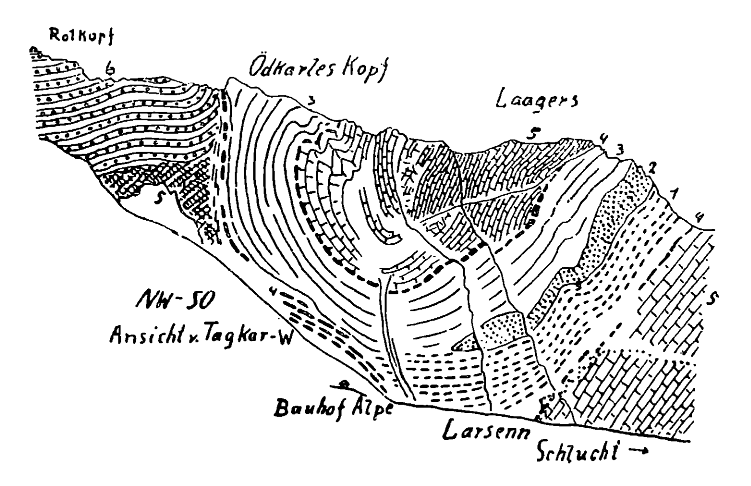


Fig. 23. Ansicht der Krabachjochdecke von Ödkarleskopf-Laagers.
Diese der Inntaldecke aufgeladene höchste Decke der westlichen Kalkalpen zeigt besonders vor ihrem Nordrande ein kräftiges Aufsteigen des unbelasteten Untergrundes, welcher hier oben aus Gosauschichten besteht. Diese sind auch noch von der Aufhebung mitergriffen.

Krabachjochdecke:
1 = Muschelkalk.
2 = rostiger Wettersteinkalk.
3 = Wettersteinkalk und Dolomit.
4 = Raibler Schichten.
5 = Hauptdolomit.

Inntaldecke:
4 = Raibler Schichten.
5 = Hauptdolomit.
6 = Gosausandsteine und Konglomerate.

Ruitelspitze gegen S ab. Die Grenze der Inntaldecke umsäumt nun den Sockel der Ruitelspitze, die Torspitzgruppe, die Leiterspitze, springt dann in einem Erker bis zu den Seeköpfen vor und wendet sich am Nordfuß der Parseier Spitze wieder gegen O, um über den Silbersattel das Inntal zu erreichen.

Die Ursache der Abbiegung des Randes der Inntaldecke von der O—W-Richtung in die N—S-Richtung ist eine kräftige Queraufwölbung der Lechtaldecke. Wie von einer gewaltigen steinernen Woge wird so die Inntaldecke erhoben und zerbrochen. Westwärts erscheint sie nicht mehr als geschlossene Platte, sondern nur mehr in kleineren, frei schwimmenden Schollen.

Das Madauer-Parseier Tal scheidet so das Gebiet der schwereren geschlossenen Inntaldecke im O von der inselförmigen Auflösung im W. Letztere Deckschollen aus Trias ruhen dabei den jüngsten Schichten der Lechtaldecke, den Kreideschiefern, auf, wodurch die Abgrenzungen besonders klar werden. Zugleich nimmt die Mächtigkeit der Inntaldecke sehr ab. Dafür gewinnt die höhere Krabachjochdecke als drittes Stockwerk an Mächtigkeit und Verbreitung.

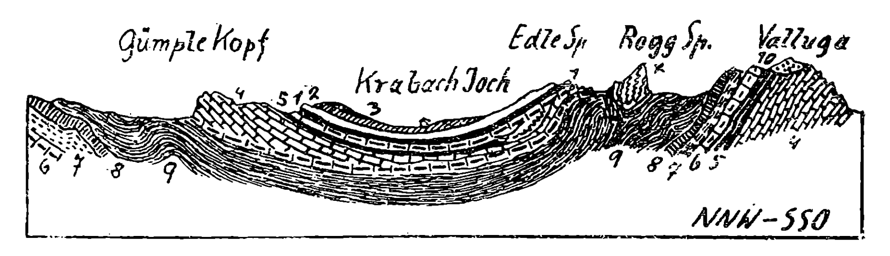


Fig. 24.

Querschnitt Valluga—Krabachjoch—Gümplekopf.

Hier sieht man in der breiten Wiege der Kreideschiefer Reste der Inntal- und Krabachjochdecke liegen. An der Süd- und Nordseite erscheint der leichtbewegliche Untergrund aufgetrieben. Dabei ergriff die Aufhebung im S auch noch den Zahn der Roggspitze.

Krabachjochdecke:

1 = erzführender Muschelkalk.
2 = Arlbergkalk.
3 = Partnachschichten.

Inntaldecke:

4 = Hauptdolomit.
5 = Kössener Schichten, Rätkalk und Aptychenkalk.

Lechtaldecke:

4 = Hauptdolomit.
5 = Kössener Schichten.
6 = Rätkalk.
7 = Liasfleckenmergel.
8 = Tithonkalk.
9 = Kreideschiefer.
10 = Eisenspitzbreccie.
× = Tauchdecke der Roggspitze: Rätkalk, Lias und Aptychenkalk.

Als Beispiel der Auflagerung dieser Doppeldecke soll das schöne Profil der Valluga (Fig. 24) dienen.

Hier ist die Inntaldecke von S gegen N scharf abgeschert, was wohl als eine Wirkung der Reibung bei der Einwanderung der Decke verständlich erscheint. Beide Decken zeigen zusammen eine flach muldenförmige Lagerung, welche wohl eine Einpressung bedeuten kann. Unser Rest einer Doppeldecke lagert allseitig frei auf den feinschichtigen und sehr gleitfähigen Kreideschiefern.

Sowohl im S als auch im N des Deckenrestes sind diese weichen Schiefer aufgewölbt, was man als ein seitliches Ausweichen unter der Belastung auffassen kann. Besonders deutlich ist die Auftreibung

an der Südseite, welche hier auch den Zahn der Roggspitze miterfaßt hat.

Der noch westlicher gelegene Rest der Inntaldecke und Krabachjochdecke, die Hasenfluh bei Zürs, zeigt, wie Fig. 25 lehrt, einen besonders schönen Fall von Entlastungsauffaltung der Kreideschiefer.

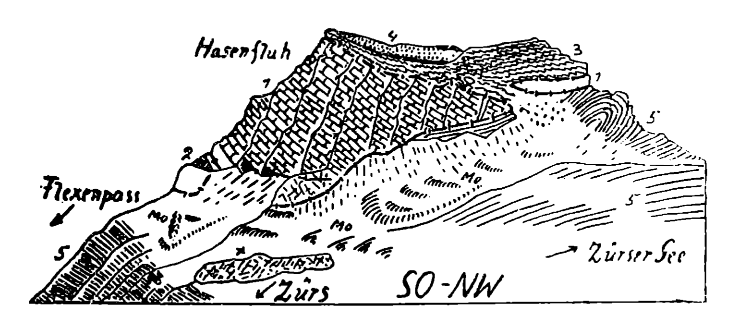


Fig. 25. Ansicht der Hasenfluh von O.

Auf den Lechtaler Kreideschiefern ruht die Scholle der Hasenfluh als mehrteiliger Schubkörper der Inntal- und Krabachjochdecke. Die Hauptmasse besteht aus zwei Stollen von Hauptdolomit, welche scharf zu tektonischen Keilen verschnitten sind. Darüber eine Decke von heftig gefalteten Aptychenkalken und auf dieser noch Hornsteinkalke und Kreidesandsteine. Die Aufpressung des Untergrundes wird an der Nord- und Westseite durch Gewölbe von Kreideschiefern verkündet.

1 = Hauptdolomit.
2 = Liaskalk.
3 = Aptychenkalk.
4 = Hornsteinkalk und Kreidesandsteine.
5 = Kreideschiefer.
Mo = Blockmoränen.
× = Gleitscholle aus 1.

Zum Schlusse möchte ich noch aus dem östlich gelegenen Kaisergebirge einen Querschnitt vorführen, welcher ebenfalls Belastungswirkungen der Inntaldecke erkennen läßt. Diesen Schnitt gibt Fig. 26 wieder. Dieser völlig abgetrennte Teil der Inntaldecke (Kaisergebirgsdecke) ist hier als eine klare und tiefgreifende Mulde ausgebildet, welche am Süd- und Nordrande Schichtverdoppelungen aufweist, welche auf Gosauschichten ruhen. Im N reicht aber der Vorstoß der Kaisergebirgsdecke sogar noch auf das Tertiär der Unterinntaler Mulde vor. Für eine Auflösung dieses Baubildes im Sinne von Belastungswirkungen kommen hier mehrere Anzeichen in Betracht. Möglicherweise ist die große Mulde noch tiefer, als in meiner Konstruktion angenommen ist. Weiter ist die auffallende Anhäufung von Buntsandstein als eine Beiseitedrückung und Auftreibung durch die Last der Kaisergebirgsdecke verständlich. Was

die Rolle der Schichtverdoppelungen betrifft, so ist es möglich, daß jene im N eine Art von Stirnbildung der Kaisergebirgsdecke aus der Zeit des Vormarsches bedeutet, während jene an der Südseite vielleicht eine Heraushebung im Gefolge der Auftreibung der Buntsandsteinmassen sein kann.

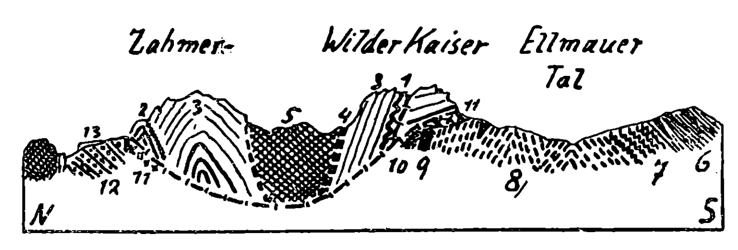


Fig. 26. Querschnitt durch das Kaisergebirge.

Die Kaisergebirgsdecke ist in ihren Untergrund tief eingedrückt und hat dabei im S eine mächtige Anschoppung und Aufpressung von Buntsandstein bewirkt. Im N ist sie auch noch auf die tertiären Angerbergschichten aufgeschoben. Diese stellen die jüngste von der Inntaldecke noch überwältigte Schichte vor.

Kaisergebirgsdecke:

1 = Muschelkalk.
2 = Partnachschichten.
3 = Wettersteinkalk.
4 = Raibler Schichten.
5 = Hauptdolomit.

Lechtaldecke:

6 = Grauwacken mit Diabaslagern.
7 = Grünschiefer.
8 = Buntsandstein.
9 = Rauhwacken.
10 = Ramsaudolomit.
11 = Gosauschichten.
12 = Oberoligocän.
13 = Mühlsteinkonglomerat.

Wir haben in einer sehr gedrängten Übersicht einen ersten Versuch zu einer Beschreibung der Belastungswirkungen an den Rändern der Inntaldecke vorgelegt, der leicht um viele weitere Beispiele vermehrt werden könnte. Im allgemeinen tritt an den Rändern der Inntaldecke eine Hebung des von ihr wenig oder gar nicht belasteten Gebietes in Erscheinung.

Mit dieser Hebung ist zumeist auch eine Auffaltung von jungen, weichen und leichter beweglichen Schichten verbunden. Für solche Aufwulstungen von jüngeren Schichten an den Stirnen von wandernden Schubmassen ist bisher als tektonische Erklärung eine Aufschürfung und Zusammenschiebung des Untergrundes herangezogen worden.

Diese Erklärung ist sicher in vielen Fällen die richtige. Es gibt aber daneben Ausbildungsformen wie z. B. am Nordrande des Karwendels oder an der Südseite des Kaisergebirges, wo die Er-

klärung mit dem Wechselspiel von Niederpressung des Belasteten und Aufstieg des Unbelasteten eine vertiefte tektonische Einsicht bedeutet.

An dem jungen Rückwitterungssaum der Inntaldecke im Karwendel haben sich keine Belastungswirkungen auffinden lassen.

Offenbar ist hier der Druckausgleich mit der starken Hebung des Südrandes des Karwendelvorgebirges bereits in ausreichendem Umfange vollzogen worden.

Im Karwendel dürfte die Schwere der Aufladung wahrscheinlich am bedeutendsten sein. Sie nimmt gegen O und W hin erheblich ab. Da die Druckwirkungen vor allem von der Schwere der Belastung abhängen, nehmen diese Wirkungen vom Karwendel aus gegen O und W ebenfalls gleichsinnig ab. Auch die Gesteine des Untergrundes spielen für den Druckausgleich eine wichtige Rolle.

Im Bereiche der weichen, feinschichtigen Kreideschiefer in den westlichen Lechtaler Alpen erscheint der Ausgleich von schroffen Belastungsgrenzen mit Hilfe von feingliedrigen Schichtverschiebungen glatt vollzogen.

Es sind in dieser Untersuchung in erster Linie die Ränder der Inntaldecke auf Belastungswirkungen geprüft worden. Nur am Arlberg und an der Südseite des Kaisergebirges sind noch Kristallin und Grauwackenzone gestreift worden. In der Zwischenstrecke wird ein breiter Landstreifen durch den Schutt des Inns verhüllt. Grauwackenzone und Kristallin sind gegenüber von den Kalkalpen im ganzen wesentlich gehoben. Daß hier auch eine Entlastungswirkung vorliegt, wage ich nicht zu behaupten. Jedenfalls müßte diese Fraglichkeit erst genauer untersucht werden.

Für die tektonische Geologie bietet die Beachtung der Belastungswirkungen auch Erklärungsvorteile. Besonders gilt dies für die Theorie der Reliefüberschiebungen. Hier ist häufig die Einwendung gemacht worden, daß eine Überschreitung von höheren Erhebungen durch Schub- oder Gleitmassen unmöglich sei. Hier kann nun in manchen Fällen eine nachträgliche Hebung von entlasteten Gebirgsteilen diese Schwierigkeit beseitigen. Die Wirkungen der Entlastungen sind wohl imstande, einem von Überschiebungsmassen niedergedrückten Relief wenigstens teilweise zu neuer Hebung zu verhelfen. So können heute steile Bahnen zur Zeit ihrer Befahrung flacher gewesen sein.

Über die Möglichkeit einer Gasdruck-Tektonik

Von

Otto Ampferer
ordentl. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Mit 10 Textfiguren)

Vorgelegt in der Sitzung am 23. November 1944

Zur Erklärung der überaus mannigfaltigen geologischen Bauformen, welche an der Erdoberfläche erkennbar sind, hat man in erster Linie den Gewölbedruck herangezogen, welcher in der Erdschale durch eine Kontraktion wirksam werden kann.

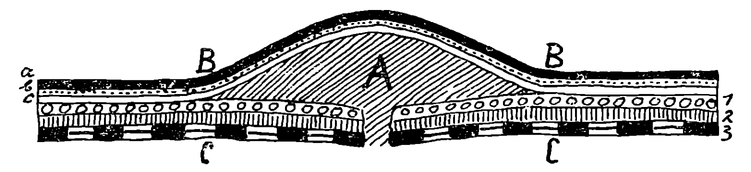


Fig. 1. Ausgangsanordnung.

A = Eindringung von hochgespannten, heißen Gasen zwischen parallele Schichtgruppen B und C. Durchbrechung von C und Aufwölbung von B.

B umfaßt die Schichten a—b—c und C die Schichten 1—2—3.

Manches läßt sich damit erklären, vieles andere aber nicht. Wesentlich größer wird der Erklärungsbereich, wenn man an Stelle des allseitigen Gewölbedruckes Bewegungsvorgänge im heißen Untergrunde in Betracht zieht.

Auch dieser Deutung bleibt die Erklärung gewisser tektonischer Gebilde verschlossen, beziehungsweise umständlich.

Insbesondere gilt dies für den Versuch, die Deckenbildungen der Gebirge mittels Gleitungen verständlich zu machen. Man hat hier die Beobachtungstatsache einer weltweiten Verbreitung von kleineren und größeren Gleitmassen, zu denen aber meistens die Gleitbahnen fehlen. Diese Schwierigkeit könnte nun geistig überwunden werden, wenn man in die geologische Tektonik die Annahme einer

fallweisen Mitwirkung von hochgespannten Gasen oder Dämpfen einführt. Es wäre dies durch die Heranziehung von hochgespannten Gasen eine Erweiterung der Kraftquellen der Unterströmungslehre. Der einfachste Fall einer derartigen Mitwirkung von Gasen wäre die Auftreibung einer Wölbung, wie Fig. 1 im Schema vorführt.

Von einer solchen Wölbung könnten dann seitliche Abgleitungen stattfinden. Würde später eine Ausströmung des Gases einsetzen, so würde der Fall verwirklicht sein, daß hinter den Gleitmassen scheinbar kein dazugehöriges Gefälle und keine Gleitbahn mehr zu finden ist.

Es ist der Vorzug der Gase und Dämpfe, Arbeit verrichten zu können und dann gleichsam vom Schauplatz zu verschwinden.

In der folgenden Untersuchung sollen nun die einfachsten Formen einer motorischen Mitarbeit von Gasen oder Dämpfen an der Umformung der Erdhaut in Betracht gezogen werden, zunächst nur, um zu sehen, welche Erklärungshilfe man von einer solchen Annahme überhaupt zu erwarten hätte. Wir gehen also von der Annahme aus, daß sich unter entsprechenden Umständen unter der obersten Erdhaut Gasmassen ansammeln können, welche Teile derselben aufzuheben und auch einige Zeit zu tragen vermögen. Wenn man die Vergleichsreihe Sonne — Mond — Erde betrachtet, so wissen wir, daß im Haushalt der Sonne gewaltige Gasausbrüche in der Form der Protuberanzen eine nicht seltene Rolle spielen. Diese Ausschleuderungen vermögen Hunderttausende von Kilometern zu erreichen. Am Mond hinwieder sehen wir, daß seine Oberfläche von vielen Tausenden von Kratern und Trichtern durchbrochen wurde, deren Hohlräume offenbar von aufsteigendem Magma glatt ausgefüllt wurden.

An der Oberfläche der Erde haben wir an zahlreichen Stellen erloschene und tätige Vulkane, deren Gase und Dämpfe in mächtigen Explosionen Bomben und Aschen schleudern oder oft riesige Lavamassen zum Ausfluß treiben. Es ist also von diesen altbekannten Wirksamkeiten nur ein Schritt zur Annahme, daß unter der Erdoberfläche auch Gasauftreibungen von großen Dimensionen, wenigstens zeitweise, aufgetreten sind, wenn unter dafür günstigen Bedingungen zwischen der Treibkraft der Gase und der Dichtheit und Elastizität der obersten Erdhaut ein tragbares Verhältnis zustande kam.

Wir gehen nun auf die tektonischen Auswirkungen einer solchen gasgefüllten und gasgetragenen Auftreibung eines Teiles der Erdhaut ein.

Erreicht die Aufwölbung im Querschnitt genügend steile Gefällswerte, so ist ein Abgleiten der obersten Schichtmassen sehr wahr-

scheinlich. Ein solches Abgleiten wird durch die starke Erwärmung des Untergrundes und die mit der Auftreibung verbundenen Erschütterungen wesentlich erleichtert.

Die Wirkung der Abgleitungen ist tektonisch eine doppelte. Erstens tritt eine Entlastung des Scheitels und Mantels der Aufwölbung ein. Diese kann sich entweder in einem Hähersteigen der Aufwölbung und damit in neuerlichen Abgleitungen oder bei entsprechender Schwächung der Gewölbedicke in einem Ausströmen des Traggases und damit im Einsinken der Wölbung äußern.

Zweitens wird durch die Abgleitungen eine schwere Belastung des Saumes der Aufwölbung herbeigeführt.

Dies würde wahrscheinlich weiter in der Ausbildung einer Mulde unter den angehäuften Gleitmassen seinen Ausdruck finden.

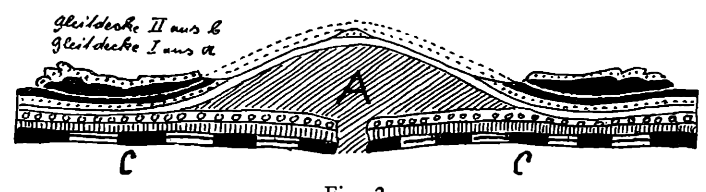


Fig. 2

Von der Aufwölbung A finden nach beiden Seiten Abgleitungen statt. Die erste Abgleitung verwendet die oberste, jüngste Schichte a, die zweite Gleitung die nächst ältere Schichte b. So kommt in den Gleitmassen eine Altersumstellung zustande und ältere Schichten lagern über jüngeren.

Es gilt nun, diese Folgewirkungen einer Aufblasung eines größeren Gasgewölbes noch genauer für den tektonischen Gebrauch auszuwerten.

Die Schwierigkeiten, welche sich sonst für die Gewinnung eines brauchbaren Gefälles für eine größere Gleitbahn entgegenstellen, fallen bei einer solchen Aufwölbung weg.

Einen weiteren großen Erklärungsvorteil bietet dann die leichte Möglichkeit einer Wiederholung der Gleitungen bei einem Höherschwellen der Aufwölbung, die leicht mit jeder Entlastung durch die vorauseilende Gleitung verbunden sein kann.

Wie Fig. 2 im Schema näher ausführt, hat eine solche Wiederholung von Gleitungen an ungefähr derselben Gewölbestelle mit Notwendigkeit die Wirkung, daß immer ältere Schichtfolgen für die jüngeren Gleitungen verwendet werden müssen.

Damit wäre eine Erklärung für die vielfach beschriebene Erscheinung gegeben, daß auf Gleitdecken aus jüngeren Schichten zuoberst solche aus wesentlich älteren Schichten liegen. Ich brauche hier nur zum Beispiel an das klare Profil der Lechtaler Alpen nördlich vom Arlberg oder an die Profile der Glarner Alpen zu erinnern, wo die hohe Aufschiebung der alten Verrukanomassen prachtvoll entwickelt ist.

Dabei darf man nicht vergessen, daß die Annahme von Fig. 2 mit einer glatten Aufwölbung von glatten Schichten, also dem allereinfachsten Falle rechnet.

Nimmt man aber an, daß die Aufwölbung nicht glatt, sondern vielleicht rückfällig gebaut ist oder die Schichten vor der Aufwölbung schon eine Faltung erlitten haben, so ergeben sich bereits eine Reihe von Kombinationen. Bestehen bleibt aber auch unter diesen Annahmen die Gesetzmäßigkeit einer Verwendung von älterem Schichtgut in den oberen Gleitdecken als in den unteren.

Was nun die Bildung von Gasauftreibungen der Erdhaut betrifft, so ist wohl klar, daß eine solche Wölbung am leichtesten mit glatt liegenden noch meerfeuchten Schichten auszuführen ist, die zugleich biegsam und dicht sind.

Stärker gefaltete oder schon von der Erosion zerschnittene Schichten sind schon wegen ihrer Klüftigkeit und Ungleichheit wenig geeignet, hohen Gasdrucken länger zu widerstehen. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß zu Gasgewölben in erster Linie ungefaltete und unzerbrochene Schichttafeln am besten brauchbar sind. Überblicken wir z. B. die Decken der Alpen, so finden wir auch tatsächlich für ihren Aufbau vor allem vorher ungefaltete Schichten verwendet.

Es ist sicher, daß Gasauftreibungen nicht zu den Dauerformen der Erdhaut gehören, da ja schon durch die raschen Abgleitungen ihre baldige Zerstörung eingeleitet wird. Durch die Abgleitungen von dichten Schichtverbänden kann der Schichtverschluß für die hohen Gasdrucke leicht ungenügend werden. In diesem Falle kann eine rasche, vielleicht auch eine irgendwie verzögerte Ausströmung stattfinden. Tritt eine rasche Ausströmung ein, so bildet sich die Aufwölbung in eine Einsenkung oder einen Einbruch um.

Eine solche Einsenkung könnte vom Meere oder von Flüssen eine Wasserfüllung erhalten und damit Sitz einer Sedimentation werden.

Es ist aber wahrscheinlicher, daß die Einsenkungen durch aufsteigende Massen aus dem tieferen Untergrunde oder durch seitliches Hereindrängen nachgefüllt und geschlossen werden.

Wie immer aber diese Hohlräume ausgefüllt werden, so stößt auf jeden Fall diese Gleitmasse nicht mehr an ihre Gleitbahn und ihr ehemaliges Heimatgebiet.

Zugleich haben die Gleitdecken auch ihr ehemaliges Gefälle eingebüßt. Es ist sogar möglich, daß eine Umkehrung des Gefälles zustandekommt, wie Fig. 3 andeutet.

Wir haben bisher beim Ausbau der Vorgänge, welche sich mit Wahrscheinlichkeit an die Umformung einer Gasauftreibung anschließen lassen, folgende Leitlinien erkannt.

Treten am Abfall eines Gasgewölbes Abgleitungen auf, so ist damit einerseits Entlastung des Scheitels und Mantels, anderseits Belastung des Gewölbesaumes verbunden. Diese Belastung kann zur Bildung einer Einmuldung führen, in welcher dann die Gleitdecken gleichsam wie eine eingemessene Füllmasse ruhen.

Kommen durch weitere Erhöhung des Gasgewölbes neue Abgleitungen ins Laufen, so können dieselben ihr Material nur aus älteren Schichten wie die erste Gleitung beziehen. Wir haben also

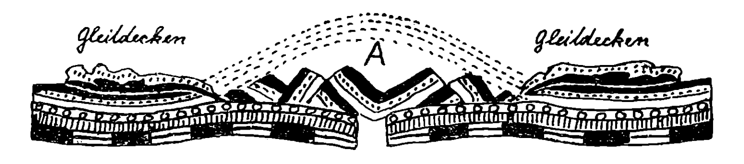


Fig. 3

Diese Konstruktion ist eine Weiterbildung von Fig. 2 zum Ausströmen der Gasfüllung und Einbruch ihrer Wölbung.

Dabei ist hier der Fall festgehalten, daß ein Gefällsverlust der abgelaufenen Gleitdecken gegen den Einbruch hin stattgefunden hat.

bei einer Wiederholung der Gleitung die Verwendung von immer älteren Schichten zu gewärtigen. Dies gilt natürlich nur, wenn die Gasauftreibung eine regelrechte, große Schichtfolge ergriffen hat.

Gasauftreibungen sind innerhalb der obersten Teile der Erdhaut bestimmt nicht von langer Dauer. Es ist deshalb mit ihrem in geologischem Sinne kurzlebigen Bestande zu rechnen. Kommt es zum Entweichen der Gasmasse, so kann dies allgemach oder auch rasch eintreten. Insbesondere ist das Abrollen der Gleitdecken eine gefährliche Erschütterung eines solchen von Gasspannung getragenen Bauwerkes. Das Ergebnis des Gasverlustes ist mit Wahrscheinlichkeit die Umformung der Aufwölbung in eine Einsenkung. Dadurch haben unsere angehäuften Gleitdecken sowohl das Gefälle als auch

ihr Hinterland verloren. So erhalten sie jene eigenartige Isolierung, welche auch die Deckenhäufungen z. B. am Außenrande der Alpen auszeichnet.

Wir sind von einer einzelnen Auftreibung ausgegangen und haben zuerst die Funktion des Querschnittes betrachtet.

Wenden wir nun unsere Aufmerksamkeit den Umrissen der Auftreibungen zu, so wäre wohl die einfachste Form eine kreisförmige Begrenzung.

Diese Form ist indessen wohl mehr die Umgrenzung von typischen Vulkanen mit zentralem Förderkanal. Wenn unsere Auftreibungen auch einen kreisförmigen Umriß gehabt hätten, so

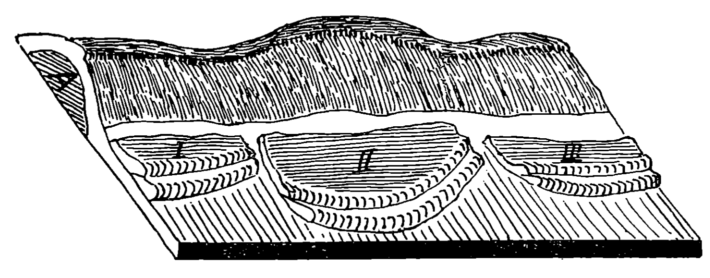


Fig. 4

Diese Zeichnung stellt einen Blick auf die langgestreckte Gaswölbung A vor, von welcher 3 Gleitdecken I—II—III abgelaufen sind. Dabei entsprechen Größe und Lauflänge den verschiedenen Wölbungshöhen von A.

würden ihre Abgleitungen einen Ring hinterlassen haben. Solche Ringe von Gleitmassen sind auf der Erde bisher nicht bekannt geworden.

Es ist daher anzunehmen, daß für unsere Abgleitungen nur langgestreckte Aufwölbungen in Betracht kommen könnten, also Gebilde, wo die Längsachsen die Querachsen bei weitem übertreffen. Für die Bildung von langgestreckten Aufwölbungen wäre eine unterirdische Gasförderung aus langen Spalten unmittelbar anschaulich. Auch eine Aneinanderreihung von benachbarten kürzeren Spalten könnte wahrscheinlich zu einem ähnlichen Ergebnis der Auftreibung führen.

Bei einem längeren Streichen einer solchen gasgetragenen Wölbung ist es recht wahrscheinlich, daß die Höhe der Auftreibung nicht dieselbe bleibt, sondern Schwankungen beschreibt.

In diesem Falle ist es auch wahrscheinlich, daß auch die seitlichen Abgleitungen in ihrer Größe schwanken. Wahrscheinlich werden die Abgleitungen von den höheren Aufwölbungen im allgemeinen auch weiter ins Vorland vorgetrieben als ihre Nachbarn, die von niedrigeren Erhebungen abfließen, wie Fig. 4 im Schema anschaulich macht.

Eine weitere Frage, die noch zu klären bleibt, ist bei einer langgestreckten Auftreibung das Verhältnis der Abgleitungen der beiden Längsseiten zu den zwei Kurzseiten.

Befindet sich die Auftreibung in einer Ebene und in einem gleichartigen Schichtsystem, so ist zu erwarten, daß nach allen Seiten Abgleitungen stattfinden, die zur Hauptsache vom antreibenden Gefälle geleitet und ausgebildet werden.

Dies gilt in erster Linie, wenn die lange Achse geradlinig ausgebildet ist. Besitzt sie aber einen krummen Verlauf, so sind die Abgleitungen der nach außen gekrümmten Seite in ihrer Geläufigkeit viel weniger behindert, als jene an der nach innen gekrümmten Seite.

Nur an der Außenseite hindern sich die Gleitmassen nicht im gegenseitigen Ablauf, wogegen sie auf der Innenseite einander gegenseitig bedrängen.

Es ist nun wieder eine schon lange bekannte Tatsache, daß die Ausbildung der Decken an den nach außen gebogenen Gebirgsteilen besonders schön und großartig ist.

Es ist gewiß kein Zufall, wenn die Auffindung der großen Decken von Préalpes und Chablais Hans Schardt gerade an einer besonders kräftig gebogenen Außenseite der Westalpen gelungen ist.

Im allgemeinen ist aber eine Erhaltung der Abgleitungen auf allen Seiten eines Gasgewölbes ein Fall, der anscheinend keine Verwirklichung auf der Erde erfahren hat. Für die kleinen Auftreibungen der Vulkane ist eine ringförmige Geschlossenheit dagegen eine häufige Erscheinung, wie uns insbesondere die Krater der Mondlandschaften nahelegen.

Bei der Beurteilung der Haltbarkeit von Gasgewölben darf man nicht vergessen, wie relativ hinfällig solche Bauwerke sind, weit hinfälliger als die Aufschüttungen von Laven und Tuffen aus den Schußröhren der Vulkane. Die Ringgebilde der Vulkane sind auch viel kleiner als jene Auftreibungen, welche zur Erklärung der Gleitdecken erforderlich wären.

Diese Größe ist neben der baulichen Hinfälligkeit auch die Ursache, daß diese Auftreibungen den Zerstörungen weit mehr ausgesetzt sind. Wir haben also nur bescheidene Reste dieser Bauanlagen zu erwarten.

Für die Zerstörung von Gasauftreibungen sind verschiedene Möglichkeiten in Betracht zu ziehen.

Die erste ist eine Einsenkung der Gewölbedecken, welche ihre Unterstützung mehr minder rasch verlieren kann. Eine zweite ist durch ein Aufsteigen von heißen Massen aus dem Untergrund und Einschmelzungen gegeben. Für eine dritte kann endlich das Hereindrängen der seitlichen Massen Bedeutung gewinnen.

Die einfachste Umformung ist die Vertauschung eines Gewölbes mit einer Einsenkung. Diese Umformung kann mit einem sehr verschiedenen Maß von Genauigkeit vollzogen werden. Hieher würden auch die sogenannten Firsteinbrüche gehören, die seinerzeit viel in der alpinen Tektonik als Bauerklärung verwendet wurden.

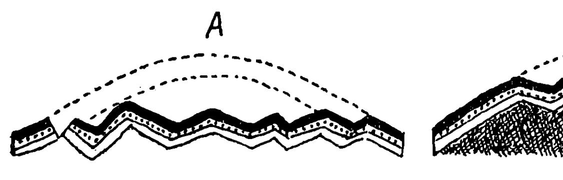


Fig. 5 a

Einbruchsform des Gasgewölbes A mit Ausbildung einer gesenkten, kantigen Faltung der Gewölbedecke.

Fig. 5 b

Einbruchsform des Gasgewölbes A mit Aufsteigen des Untergrundes.

Betrachtet man nicht bloß ein einzelnes Gasgewölbe, sondern eine Reihung von benachbarten Gewölben, so kann durch ihren Einbruch eine Summe von Schichtstörungen entstehen, welche mit Faltung gar nichts zu tun haben.

Fig. 5 entwirft ein schematisches Bild einer solchen Umformung von zwei Gasgewölben in Einbruchsformen. Es können auf diese Weise (Fig. 5 a) an Stelle von großen Gewölben Einschaltungen von kleineren Mulden zustande kommen. An Stelle der Gewölbe erscheinen dann abgebrochene Sättel. So kann ein Bild von Schichtverstellungen hervorgehen, in welchem die Muldenformen erheblich über die Sättel vorherrschen.

Steigt nach dem Ausströmen des Gaspolsters (Fig. 5 b) der heiße Untergrund in den früheren Hohlraum empor, so kann eine solche Raumeroberung in vielerlei Formen vor sich gehen. Wahrscheinlich sind damit auch Einschmelzungen in größerem Umfange verbunden.

Es ist wahrscheinlich, daß das Hereindrängen der höheren seitlichen Massen besonders im Falle der Einschmelzungen sehr erleichtert wird. Hiebei kann es dann auch zu Überfaltungen und zur Ausbildung von Rollfalten kommen.

Wir sind auf diesem Wege zur Einsicht gelangt, daß durch die Entleerung der Gaspolster bedeutende Umformungen des früheren Gewölbebaues eingeleitet werden können, welche seine Erkennung schwierig, vielleicht sogar unmöglich machen. Es ist unter dieser Annahme leicht verständlich, daß hinter den Gleitdecken sowohl die Anzeichen ihrer Fahrbahn als auch die ihrer Heimat verschwinden können. Bisher haben wir unsere Aufmerksamkeit auf die Abgleitungen von einer Seite eines Gasgewölbes gerichtet. Diese Vorstellungen sind ohneweiters auf alle Seiten der Aufwölbung übertragbar.

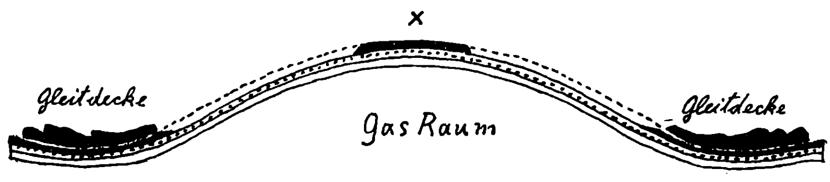


Fig. 6

Von dem weitgespannten Gasgewölbe A gleiten nach beiden Seiten Gleitdecken ab. Auf dem flachen Scheitel bleibt zwischen den Abrißrändern eine Schonzone × in ihrer Stellung erhalten.

Es ist nun zu fragen, wie sich z. B. die Abgleitungen von zwei Gegenseiten zueinander verhalten.

Ist die Aufwölbung steil und die Scheitelung schmal, so können die Abreißungen der gegenüber befindlichen Gleitungen nahe, vielleicht sogar ganz aneinander grenzen. Ist aber die Scheitelfläche breit und flach, so ist es wahrscheinlich, daß hier zwischen den auseinander fließenden Gleitmassen ein unzerrissener Streifen in Ruhe bleiben kann. (Fig. 6.) Freilich kann ein solcher Schonstreifen bei einem weiteren Wachstum der Wölbung oder einer neuen Schrägstellung ebenfalls in den Gleitvorgang einbezogen werden. Ein solcher Schonstreifen, der vielleicht später in die Einsenkung des Gasgewölbes eingepreßt wurde, kann dort durch Druck und Wärme eine Umformung erlitten haben, welche seine Abstammung aus dem Material der Gleitdecken unkenntlich oder unsicher machen kann.

Sinkt die Gaswölbung ein, so können die entgegen gefalteten Gleitdecken durch eine breite Lücke getrennt sein. Diese Lücke müßte breit genug sein, um die beiden wieder glatt gestrichenen Gleitdecken aufnehmen zu können.

Versucht man eine Anwendung auf einen Querschnitt der Alpen, so müßte die volle Breite der aneinander gefügten Nord- und Südalpen in der Lücke Raum finden können. Dies ist jedoch bei weitem nicht möglich. Dabei ist allerdings zu bedenken, daß der Raum der Gasentleerung voraussichtlich von den Seiten her eine starke Zusammenpressung erfahren hat und also kein verläßliches Maß seiner ursprünglichen Größe mehr liefern kann.

Wir haben schon erwähnt, daß die Erhaltung einer Gasauftreibung wegen ihrer Kurzlebigkeit so gut wie ausgeschlossen ist. Was wir als Reste derselben finden können, sind in erster Linie die Säume der Gleitdecken, welche durch ihre starke Verdickung und tiefe Lage den geologisch langfristigsten Teil einer solchen Auftreibung vorstellen.

Wenn wir wieder die Alpen überblicken, so haben die meisten Anhäufungen von Gleitdecken, soweit sie heute noch erhalten sind, geradlinige Haupterstreckungen. Es gibt aber einzelne Stellen, an denen noch Umbiegungen der Deckenachsen erhalten sind.

Eine der größten und schönsten liegt am Westende der Ostalpen, wo die Faltenreihen der Nordalpen im Rätikon mit kraftvollem Schwunge erst gegen SW, dann SO und endlich gegen O umschwenken.

Wir haben bereits ausgeführt, daß bei Wiederholung von Abgleitungen an derselben Stelle von Gasauftreibungen eine große Wahrscheinlichkeit besteht, daß für die jüngeren Gleitungen immer ältere Schichtfolgen verwendet werden. Nun haben aber neuere Untersuchungen gezeigt, daß die jüngeren Gleitdecken vielfach als Reliefüberschiebungen ausgebildet erscheinen. Das heißt mit anderen Worten, zwischen der ersten und der zweiten Abgleitung können Zeiten von Erosionen eingeschaltet gewesen sein.

Will man versuchen, diese Erscheinung vom Standpunkt der Gasdruck-Tektonik aus zu erklären, so bleibt dazu nur die Annahme von zwei zeitlich getrennten Gasauftreibungen übrig. Mit der Annahme von zwei verschieden alten Gasgewölben kann man die Einschaltung von Erosionsperioden schon erklärlich machen.

Eine Wiederholung von vulkanischen Ereignissen an derselben Stelle der Erdhaut ist geologisch häufig genug bestätigt worden. Man braucht z. B. in den Alpen nur an die Südtiroler Dolomiten zu denken, wo durch die ganze mächtige Triasfolge hindurch immer wieder Laven und Tuffe eingeschaltet liegen.

Nun ist freilich ein großer Unterschied zwischen einer vulkanischen Ausstoßung von geschmolzenem Material und der hier angenommenen Auftreibung von großen, aber kurzlebigen Gasgewölben. Eine Periodizität kann aber beiden Gruppen von Vorgängen doch gemeinsam sein.

Es ist aber möglich, daß zwischen vulkanischer Förderung und der Bildung von Gasgewölben doch vielleicht verbindende Zwischenglieder bestanden haben.

So ist es denkbar, daß z. B. bei der Bildung von Lakkolithen Gasauftreibungen die ersten Raumgestalter waren, denen erst die Raumfüllungen mit Magmen gefolgt sind.

Anderseits ist es auch möglich, daß bei diesen hier zur Lösung von tektonischen Aufgaben herangezogenen Gasgewölben auch magmatische Förderungen mitbeteiligt waren. Es können solche



Fig. 7a

Schema einer Gaseinpressung in Gelenkstellen einer Faltenzone. Erleichterung der Biegungen durch Mitwirkung von Gaspolstern.

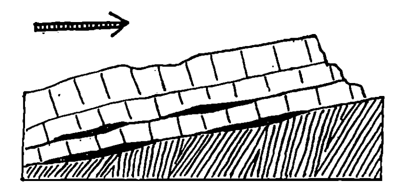


Fig. 7b

Schema einer Gaseinpressung entlang der Fahrbahn einer Schubmasse. Erleichterung des Vorschubs durch Gaspolster.

Förderungen ja auch im Mitaufsteigen von Magmen bestanden haben, welche jedoch nicht die Oberfläche der Erde erreicht haben.

Die Mitwirkung von Gasen und Dämpfen von hoher Spannung und Arbeitskraft könnte bei den tektonischen Bauwerken in mancher Hinsicht förderlich sein. Wir haben hier zunächst an die zeitweise Schaffung von Gasgewölben gedacht, welche imstande wären, ausreichende Gefällsstrecken für große Gleitungen bereitstellen zu können. Diese Gaspolster brauchen dazu nur von kurzer Lebensdauer zu sein.

Es können aber neben so mächtigen Gaspolstern auch wesentlich kleinere bautechnisch wichtig werden, welche z. B. an den Gelenken von Falten oder als Linsen entlang von Schubflächen angeordnet sind.

Fig. 7 gibt ein Schema solcher Gaseinschaltungen, von denen ebenfalls nur eine kurzfristige Wirksamkeit anzunehmen ist, welche vor allem in einer Herabsetzung der Reibung besteht.

Daß heiße Gase und Dämpfe vielfach an Klüften und Fugen das Gebirge durchdrungen haben, bezeugen ja gar vielfach die glänzenden Ausscheidungen von allerlei Erzen. Schließlich wissen wir ja nicht, in welchem Ausmaß hochgespannte Gase im Innern der Erde gefangen liegen und zu ihrem Haushalt gehören. Es ist wohl wahrscheinlich, daß die Entgasung des Erdkörpers in vergangenen Perioden eine lebhaftere als in unserer Zeit gewesen ist.

Wir haben uns bisher am eingehendsten mit Einzelformen von Gasgewölben abgegeben.

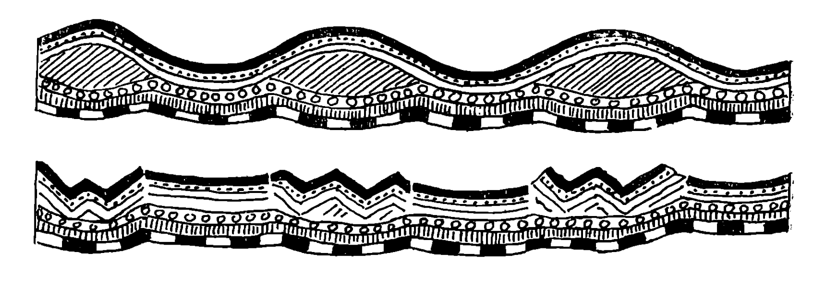


Fig. 8

Oben Schema einer Reihung von 3 Gasgewölben. Unten nach der Gasentladung in den Einbrüchen faltenartig aufgestellte Trümmer der Gewölbedecken. So kann ein Verband von flachen Mulden mit schroffen Störungszonen dazwischen entstehen.

Will man Reihungen von Gewölben in Betracht ziehen, so wären dichte und lockere zu unterscheiden. Bei den dichten Aneinanderreihungen kann es sich um eine Form des Weiterwachsens einer ersten Aufwölbung in einer bestimmten Richtung handeln. Dies könnte am leichtesten durch eine Verlängerung der gasführenden Spalte geschehen. In diesem Falle würde es auch wahrscheinlich zu einer Verlängerung des Gasgewölbes kommen. Diese Wachstumsform dürfte aber wegen der beschränkten Tragkraft der Gase räumlich ziemlich enge beschränkt sein. Diese Beschränkung kann bei einer lockeren Reihung von benachbarten Gaskuppeln wegfallen, falls dieselben jeweils eigene Gaszuführungen besitzen.

Einen Längsschnitt durch eine solche Reihe führt im Schema Fig. 8 dem Leser vor. Hier ist in der ersten Anlage eine gewisse Ähnlichkeit mit einer Faltenreihe unverkennbar.

Kommen aber die wachsenden Aufwölbungen zur Abschüttelung ihrer Gleitmassen, so ergeben sich neue Formungen, welche dadurch ausgezeichnet sind, daß zwischen Einbrüchen Zusammenstöße von Gleitungsstirnen liegen. Kommt es aber nicht zur Ausbildung der Gleitungen, sondern gleich zu den Einbrüchen, so finden wir zwischen breiten Mulden scharfe Störungszonen eingebaut. Sie sind durch einen ganz unregelmäßigen Bau und Verwendung von wirr gestellten Schollen ausgezeichnet.

Die Bildung von einzelnen Mulden ist der Gasdrucktektonik unmöglich. Sie vermag Mulden nur durch Auftreibung von zwei benachbarten Gewölben herzustellen, was einen großen Umweg bedeutet — Fig. 9.

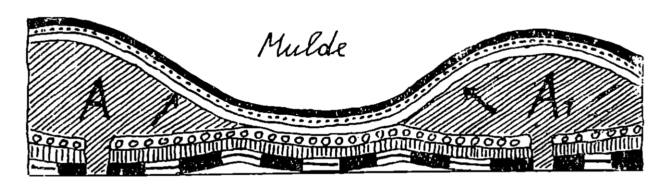


Fig. 9

Schema einer Muldenbildung durch zwei benachbarte Gasgewölbe A—A1. Man erkennt leicht den großen Umweg einer Muldenbildung mit Hilfe der Gasdruckmechanik.

Es ist naheliegend, daß zwischen Gasdruck und Last des Gewölbes ein genaues Verhältnis bestehen muß. Insbesondere muß dem steigenden Gasdruck eine Hebung, dem sinkenden eine Verminderung der Wölbung entsprechen. Es ist nicht wahrscheinlich, daß eine so erfolgte Auftreibung eine sehr große Ausdehnung gewinnen und einen langen Bestand haben kann. Das letztere wäre wohl nur möglich, wenn der Gashohlraum allgemach von aufsteigendem Magma erfüllt würde.

Es ist eine Angelegenheit für sich, ob nicht vielfach der Gasdruck den Wegbereiter für nachfolgende Schmelzen gebildet hat und er der Öffner der zahlreichen feinen Fugen der Schichtmassen gewesen ist.

Die Dicke der gehobenen Schichtmasse dürfte im allgemeinen nicht sehr groß gewesen sein. Die z. B. in den Alpen genauer erforschten Decken zeigen meist nur Mächtigkeiten zwischen 1000 bis 3000 Meter.

Geht die Gleitfaltung also auf gasgespannte Schichtgefälle zurück, so ist eine bescheidene Mächtigkeit leicht verständlich. Wenn man die Mächtigkeit der Gleitdecken als ein Maß des darunter wirksamen Gasdruckes auffassen darf, so wird die genauere Untersuchung ihrer Mächtigkeit und ihres Gewichtes geologisch wichtig. Aus der relativ geringen Mächtigkeit der Gleitdecken geht aber auch ihre beschränkte Flächenausdehnung hervor. Ein Durchziehen einer Gleitdecke durch einen größeren Teil der Alpen erscheint daher völlig ausgeschlossen.

Die neuere Erforschung der Alpen hat nun tatsächlich den Nachweis von einer großen Menge von relativ kleinen Decken erbracht.

Wir haben bereits erkannt, daß von langgestreckten Gasgewölben im Querschnitt mehrere Gleitdecken ablaufen können. Eine andere Frage ist es aber, wie man sich die Ablösung der Gleit-

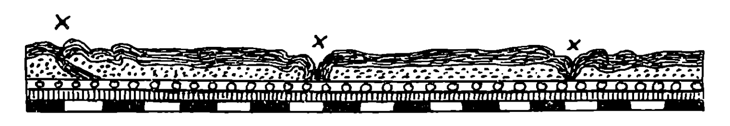


Fig. 10

Zusammenstoß von Doppelgleitdecken im Streichen.
An den Kupplungsstellen x stoßen die Deckenränder mit Pressung oder Überschiebung aneinander.

decken im Längsschnitt eines Gebirges vorstellen kann. Wenn sich keine langhin streichenden einheitlichen Gleitdecken entwickeln können, so käme vom Standpunkte der Gasdrucktektonik überhaupt nur ein Zusammenflicken aus lauter kleineren Gleitdecken in Betracht — Fig. 10.

Wie könnte nun eine solche tektonische Flickarbeit verwirklicht sein?

Um einen Einblick in diese Mechanik zu erhalten, brauchen wir nur ein Zusammenflicken von zwei Gasgewölben zu prüfen. Sind die zwei Nachbargewölbe durch eine längere Strecke getrennt, so können nur die Wülste der abgeflossenen Decken zusammenstoßen oder sich gegenseitig überschieben. Meines Wissens ist wenigstens in den mir bekannt gewordenen Teilen der Ost- und Westalpen keine derartige Deckenkuppelung vorhanden. Die einzelnen Decken tauchen auch im Streichen unter und die nächste Decke legt sich mit glatter Fahrbahn darüber.

Es ist nun möglich, daß die Gasgewölbe nur die Gleitdecken und die sie trennenden Einbrüche geliefert haben, wogegen die Übereinanderschiebung ein Werk von späteren Bewegungen ist. Diese Lösung enthält eine wesentliche Einschränkung für die Wirksamkeit und tektonische Leistungsfähigkeit der Gasdrucktektonik. Man wird nun fragen, ob sich für das Vorhandensein solcher Gasgewölbe auch unmittelbare geologische Beweise finden lassen. Für das einstige Dasein der heißen, hochgespannten Gase könnten an den Berührungsflächen der Wölbung möglicherweise Schmelzspuren, Mineral-Neubildungen oder andere Erhitzungs- und Druckspuren wie an den Schloten der Vulkane zu finden sein.

Während dieselben bei den Vulkanen aber sehr konzentriert und durch die Vulkangestalt allein schon weithin verraten werden, ist ein Auffinden solcher Anzeichen bei den in die Tiefe gerückten Einbrüchen der Gasgewölbe weit schwieriger. Außerdem ist eine zielbewußte Untersuchung für diese Fragestellung bisher nicht ausgeführt worden.

Wir befinden uns hier in einer ähnlichen Lage wie beim Auftreten von Erzmassen, von denen wir wissen, daß sie von heißen Gasen oder Lösungen aus der Tiefe herbeigeführt wurden. Auch hier ist die Mechanik der Hebung und Einverleibung unbekannt.

Es ist sogar möglich, daß diese Vorgänge zu den Anzeichen der Anwesenheit heißer, hochgespannter Gase gehören.

Die hier in Umrissen angedeutete Möglichkeit einer Verwendung der Gasdrucktektonik enthält nicht so viele prüfbare Sicherstellungen, um den Rang einer Hypothese zu verdienen.

Der Verfasser ist sich voll bewußt, daß hier noch eine Menge von neuen Beobachtungen zu sammeln und auszuwerten wären. In dieser Kriegszeit und in seinem Alter glaubt er aber nicht mehr, diese Leistung selbst vollbringen zu können. So muß der Beweisgang für oder gegen die Gasdrucktektonik einer zukünftigen Weiterforschung überlassen bleiben. Die hier vorgelegten Anwendungen dieser Art von „Unterströmungen" sind vor allem für eine leichtere Erklärung der Bildung der Gleitdecken entworfen worden.

Vielmehr ist dies nur ein erster Versuch, die Mitarbeit von heißen, hochgespannten Gasen, welche ja auch die stärksten Helfer der menschlichen Arbeit bedeuten, in den geologischen Bauwerken zu erkennen.

Für die Mitwirkung der Gase an der Umformung der Oberfläche der Erde sind noch viele Möglichkeiten neben den altbekannten und besonders anschaulichen vulkanischen Tätigkeiten vorhanden.

Da die Gase nach ihrer Arbeitsleistung entschwinden, kann man sie nicht wie Schichten später aufsuchen, sondern nur an ihrer geleisteten Arbeit erkennen. In sehr vielen Fällen wird ihre Arbeit in erster Linie in Verminderungen der Reibung bestanden haben.

Man müßte also an genau aufgenommenen Profilen jene Stellen heraussuchen, wo sich gleichsam Werkstätten von heftigen Verschiebungen oder Zertrümmerungen befinden. Solche Stellen sind auch jene Zonen, wo Gesteinsstreifen oft weithin in Mylonite umgewandelt wurden. Ich denke da z. B. an jene dichten, dunklen Mylonite des Fluchthorn-Gebietes im oberen Paznaun und Montafon, welche dort die Amphibolitmassen durchziehen und die von W. Hammer als „Pseudotachilite" beschrieben worden sind.

Sie machen an vielen Stellen den Eindruck von Eruptivbreccien.

Hammer gelangte zu der Vorstellung einer Herstellung derselben mit Hilfe von Umschmelzungen durch gesteigerte Reibungswärme. Dies ist auch nicht unwahrscheinlich.

Man kann aber auch an Schmelzwirkungen von heißen Gasen denken, welche so Verschiebungsbahnen mit verringerter Reibung geschaffen haben.

Durch das Einblasen von heißen Hochspannungsgasen in die Schichtstöße der Erdhaut können vielerlei Hebungen und Schichtverknäuelungen ausgebildet werden, welche aus dem allgemeinen Bau des Gebietes sonst nicht erklärbar sind. Es ist wahrscheinlich, daß die Gewalt der Gasspannungen in den alten Perioden der Erdgeschichte noch viel größer als in den jüngeren war.

Außerdem dürften die Zeiten der Gebirgsbildungen besonders reich an aufsteigenden Gasströmungen gewesen sein, die vielfach diesen Vorgängen Erleichterungen und Beschwingung geliefert haben.

Wenn man bei den tektonischen Überlegungen die Mitwirkung und riesenhafte Arbeitskraft der Hochspannungsgase bei der Lösung von tektonischen Problemen mehr als bisher ins Auge faßt, so kann die Weiterforschung in günstigem Sinne belebt werden.